
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.
René Peter Lovrecki

**Ist die geschlossene Warm-
wasserheizung für ein moder-
nes Einfamilienhaus noch
Stand der Technik**

Mittweida, 2017

DIPLOMARBEIT

Ist die geschlossene Warm- wasserheizung für ein moder- nes Einfamilienhaus noch Stand der Technik

Autor:

Herr Ing. Rene Peter Lovrecki

Studiengang:

Gebäudetechnik

Seminargruppe:

KM12wGGA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Hartig Ralf

Zweitprüfer:

DI(FH) Thomas Fleischhacker

Einreichung:

Mittweida, 11.08.2017

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2017

DIPLOMATHESES

Is the closed hot water heating for a modern family house still state of the art

author:

Mr. Ing. Rene Peter Lovrecki

course of studies:

building technology

seminar group:

KM12wGGA

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Hartig Ralf

second examiner:

DI(FH) Thomas Fleischhacker

submission:

Mittweida, 11.08.2017

defence/ evaluation:

Mittweida, 2017

Bibliografische Beschreibung:

Lovrecki, Rene Peter:

Ist die geschlossene Warmwasserheizung für ein modernes Einfamilienhaus noch Stand der Technik – 2017. - VIII, 60, VII S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit, 2017

Referat:

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Analyse der Anforderungen an das Heizsystem unter dem Gesichtspunkt, des immer geringer werdenden Wärmebedarfs für ein Einfamilienhaus und die immer höher werdenden Ansprüche auf Behaglichkeit bezüglich Raumklima. Ziel ist es durch geänderte Rahmenbedingungen altbewährte Systeme zu hinterfragen und über Alternativen nach zu denken. Die Beurteilungen werden auf technischer Ebene durchgeführt ohne dabei durch wirtschaftliche Betrachtung in der Untersuchung von Alternativen eingeschränkt zu werden.

Inhalt

Inhalt	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Übersicht.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Kapitelübersicht.....	3
2 Wärmetechnische Grundlagen.....	5
2.1 Thermische Energie	5
2.2 Wärmeleitung	6
2.3 Konvektion	8
2.4 Wärmedurchgang.....	10
2.5 Wärmestrahlung	12
2.6 Das wärmetechnische System Mensch	15
2.7 Behaglichkeit.....	17
3 Geschlossene Warmwasserheizung.....	21
3.1 Geschichtliche Entwicklung und Stand der Technik.....	21
3.2 Wärmeerzeugung	22
3.2.1 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen	23
3.2.1.1 <i>Biomasse</i>	23
3.2.1.2 <i>Erd-/Luftwärme (Wärmepumpe)</i>	25
3.2.2 Wärmeerzeugung aus fossilen Energiequellen.....	26
3.2.2.1 <i>Gas Brennwertkessel</i>	26
3.2.2.2 <i>ÖL Brennwertkessel</i>	28
3.3 Wärmeverteilung	29
3.4 Wärmeabgabe.....	32

3.4.1	Konvektionsheizung	33
3.4.2	Flächenheizung	35
3.5	Regelungstechnik	37
4	Das moderne Einfamilienhaus	39
4.1	Wärmeschutz	39
4.2	Luftdichte Bauweise	40
4.3	Speichermassen und deren Verhalten	41
4.4	Ausführung der Bauteile	41
4.5	Interne Wärmelasten	45
5	Wärmebedarf	49
5.1	Norm Heizlast	50
5.2	Wärmebedarf in Abhängigkeit zur Außentemperatur	55
5.3	Wärmebedarf in Verbindung mit Innerer Lasten	58
6	Auswirkungen auf das Heizsystem	63
6.1	Aus der Sicht der Wärmeerzeugung	64
6.2	Aus der Sicht der Behaglichkeit	65
6.3	Aus der Sicht des Wärmeabgabesystems	66
6.4	Aus der Sicht der Regelung	67
7	Schlussfolgerung	69
Literatur	73
Anlagen	79
Anlagen, Grundrissplan Musterhaus	LXXXI	
Anlagen, Heizlast auf Passivhausstandart	LXXXIII	
Anlagen, Tabelle Wärmebedarf in Abhängigkeit zur Außentemperatur	LXXXVII	
Selbstständigkeitserklärung	89	

Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1	Schaubild zur Wärmeübertragung; Quelle: Grundlagen Installations- und Gebäudetechnik Autoren: Heidenbauer, Winkler; Seite 29; Verlag Jugend & Volk 2009 ISBN: 978-3-7100-2004-9.....	5
Bild 2.2	Spez. Wärmekapazität; Quelle: Was ist eigentlich... : IKZ.DE“, 1, zugegriffen 22. Mai 2017, http://www.ikz.de/nc/news/article/was-ist-eigentlich-0056702.html	6
Bild 2.3	Wärmeleitung; Quelle: „Wärmeleitung in Physik Schülerlexikon Lernhelfer“, 1, zugegriffen 23. Mai 2017, https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermeleitung	7
Bild 2.4	Konvektion; Quelle: „cache_2433228453.jpg (300×231)“, zugegriffen 25. Mai 2017, http://energieinforma.info/s/cc_images/cache_2433228453.jpg?t=1360278970%22	9
Bild 2.5	Wärmeübertragung; Quelle: „Wärmeleitung in Physik Schülerlexikon Lernhelfer“, 1.	9
Bild 2.6	Wärmedurchgang; Quelle: „pdmwert1.gif (549×243)“, zugegriffen 25. Mai 2017, http://www.bund-bauen-energie.de/bilder/pdmwert1.gif	11
Bild 2.7	Wärmedurchgangskoeffizient; Quelle: 1 Ebd., 4.....	11
Bild 2.8	Elektromagnetische Spektrum; Quelle: „ForschungsberichtIR.pdf“, o. J., 10.....	13
Bild 2.9	Wärmestrahlung; Quelle: „Wärmestrahlung in Physik Schülerlexikon Lernhelfer“, zugegriffen 27. Mai 2017, https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermestrahlung	13
Bild 2.10	Strahlungsspektrum des idealen schwarzen Körpers; Quelle: „ForschungsberichtIR.pdf“, 10.....	14
Bild 2.11	Stefan-Boltzmann Gesetz; Quelle: „Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann in Physik Schülerlexikon Lernhelfer“, 1, zugegriffen 27. Mai 2017, https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/strahlungsgesetz-von-stefan-und-boltzmann	14
Bild 2.12	Wärmeabgabe des Menschen; Quelle: „Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf“, 4, zugegriffen 27. Mai 2017, http://www.uni-magdeburg.de/isut/TV/Download/Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf	16

Bild 2.13	Behaglichkeitsfeld empfundener Temperatur in Räumen; Quelle: „Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf“, o. J., 9 18
Bild 2.14	Behaglichkeit Luftgeschwindigkeit/ Raumlufthtemperatur; Quelle: „Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf“, o. J., 10 19
Bild 2.15	Behaglichkeitsfeld Raumlufthtemperatur/relative Luftfeuchtigkeit; Quelle: „Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf“, o. J., 10 19
Bild 3.1	Energetischer Endverbrauch; Quelle: „Energiestatus Österreich 2015.pdf“, zugegriffen 6. Juni 2017, https://www.bmfwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/Documents/Energiestatus%20%C3%96sterreich%202015.pdf 22
Bild 3.2	Marktentwicklung Biomassekessel in Österreich; Quelle: „2014-PV- Marktstatistik_2013.pdf“, 21, zugegriffen 6. Juni 2017, http://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/2013/07/2014-PV-Marktstatistik_2013.pdf 24
Bild 3.3	Die Entwicklung der Wärmepumpen in Österreich bis 2013; Quelle: Ebd..... 25
Bild 3.4	Erdgas verbrauch nach Sektoren 2013 Österreich; Qelle: „Energiestatus Österreich 2015.pdf“ 27
Bild 3.5	Erdölverbrauch nach Sektoren Österreich 2013; Quelle: „Energiestatus Österreich 2015.pdf“ 28
Bild 3.6	Schichtdicken und Stoffwerte; Quelle: Missel-Fachbeitrag; DI. Lothar Schäfer; Dr. Bernd Handel; zugegriffen 09. Juni 2017, https://en.missel.de/scripts/download.php?file=/data/upload/waermedaemmung__05 31
Bild 3.7	Heizungswasserverlauf in einem Plattenheizkörper; Quelle: Alfons Oebbeke, „Niedertemperatur-Heizkörper von Stelrad mit serieller Durchströmung“, zugegriffen 11. Juni 2017, http://www.baulinks.de/webplugin/2011/0619.php4 33
Bild 3.8	Bauformen und Wirkungsweise von Fußleistenheizungen; Quelle: Elektroheizungen in passenden Bauformen für jeden Raum - fussleistenheizung“, zugegriffen 11. Juni 2017, http://hansgr.890m.com/?page=8269 34
Bild 3.9	Aufbau einer Rohfußbodenheizung in Nassverlegung; Quelle: „technische-information-flaechenheizung--kuehlung.pdf“, zugegriffen 13. Juni 2017, https://www.rehau.com/download/1187506/technische-information-flaechenheizung--kuehlung.pdf 35
Bild 3.10	Aufbau einer Rohfußbodenheizung in Trockenverlegung; Quelle: „Trockenestrichelemente von Fermacell – baudochselbst.de“,

	zugegriffen 13. Juni 2017, http://www.baudochselbst.de/fussbodenheizung/fbh-zubehor/trockenestrichelemente-von-fermacell/	36
Bild 3.11	Wandheizung im Trockenbau; Quelle: „Planung Wandheizung – baudochselbst.de“, zugegriffen 13. Juni 2017, http://www.baudochselbst.de/fussbodenheizung/fussbodenheizung-planung/planung-wandheizung/	36
Bild 4.1	Aufbau Außenwand; Quelle: „IBO Passivhaus Bauteilkatalog“, zugegriffen 14. Juni 2017, https://www.baubook.at/phbtk/index_BTR.php?SW=19	42
Bild 4.2	Aufbau Plattenfundament; Quelle: Ebd.	43
Bild 4.3	Aufbau Flachdach; Quelle: „IBO Passivhaus Bauteilkatalog“, zugegriffen 14. Juni 2017, https://www.baubook.at/phbtk/index_BTR.php?SW=19	44
Bild 4.4	Wohnflächenabhängige innere Wärme Energie nach PHPP9; Quelle: „Interne Wärmequellen in Abhängigkeit von der Wohnfläche []“, zugegriffen 10. August 2017, https://passipedia.de/planung/energieeffizienz_ist_berechenbar/energiebilanzen_mit_dem_phpp/interne_waermequellen_in_abhaengigkeit_von_der_wohnflaeche?do=	46
Bild 5.1	Normheizlast ein und desselben Gebäudes mit unterschiedlichen Ausführung	54
Bild 5.2	Vergleich der gemessenen maximalen Heizleistung; Quelle: „05_heizlast.pdf“, 143, zugegriffen 10. August 2017, http://www.passiv.de/downloads/05_heizlast.pdf	55
Bild 5.3	Verlauf des Tagesmittels der gemessenen Heizleistung und der Außentemperatur; Quelle: „05_heizlast.pdf“, 143, zugegriffen 10. August 2017, http://www.passiv.de/downloads/05_heizlast.pdf	56
Bild 5.4	Verlauf der Raumtemperatur Quelle: „05_heizlast.pdf“, 143, zugegriffen 10. August 2017, http://www.passiv.de/downloads/05_heizlast.pdf	56
Bild 5.5	Wärmebedarfsverlauf der Musterhäuser in Abhängigkeit der Außentemperatur	57
Bild 5.6	Wärmebedarfsverlauf Badezimmer in Abhängigkeit der Außentemperatur	58
Bild 5.7	Wärmebedarfsverlauf Wohnzimmer in Abhängigkeit der Außentemperatur	59
Bild 5.8	Wärmebedarfsverlauf Küche in Abhängigkeit der Außentemperatur ..	60

Bild 5.9	Wohnzimmer; Quelle: „05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf“ zugegriffen 10. August 2017, http://passiv.de/downloads/05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf	61
Bild 5.10	Küche; Quelle: „05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf“ zugegriffen 10. August 2017, http://passiv.de/downloads/05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf	61
Bild 5.11	Bad; Quelle: „05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf“ zugegriffen 10. August 2017, http://passiv.de/downloads/05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf	62

Tabellenverzeichnis

Tab 2.1	Wärmeleitzahl; Quelle „RP-Energie-Lexikon - Wärmeleitfähigkeit, Wärmeleitzahl, Materialien, spezifische, Wärmeleitfähigkeitsgruppe, Wärmewiderstand“, 1, zugegriffen 25. Mai 2017, https://www.energielexikon.info/waermeleitfaehigkeit.html	8
Tab 2.2	Wärmeübergangskoeffizienten; Quelle „Wärmeübergangskoeffizient Wertetabellen“, zugegriffen 25. Mai 2017, http://www.formel-sammlung.de/formel-Waermeuebergangskoeffizient-3-25-162.html ...	10
Tab 2.3	U-Werte; Quelle „RP-Energie-Lexikon - Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert, k-Wert, Berechnung, Wärmedämmung, effektiver U-Wert“, zugegriffen 25. Mai 2017, https://www.energielexikon.info/waermedurchgangskoeffizient.html	12
Tab 3.1	Verlustwärmeströme gedämmter und ungedämmter Rohrleitungen im Fußboden; Quelle Missel-Fachbeitrag; DI. Lothar Schäfer; Dr. Bernd Handel; zugegriffen 09. Juni 2017, Https://en.missel.de/scripts/download.php?file=/data/upload/waermedaemmung__05	31
Tab 3.2	Längenbezogener Wärmeverlustfaktor von Heizungsrohren aus Kupfer; Quelle „Ingenieurbüro Matthaei » Blog Archi Dämmung von Heizungsrohren - Ingenieurbüro Matthaei“, zugegriffen 10. Juni 2017, http://www.energie-effizient-sparen.de/fachbeitraege/daemmung-von-heizungsrohren/	32
Tab 4.1	Luftwechselrate bei 50 Pascal Druckdifferenz; Quelle „richtlinie_6_26.03.15.pdf“, 7, zugegriffen 13. Juni 2017, https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf . „Daemmstoffbroschuere.pdf“, 15, zugegriffen 13. Juni 2017, https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/publikationen/berichteBroschueren/Daemmstoffbroschuere.pdf	40
Tab 4.2	Bauteile Außenwand; Quelle „IBO Passivhaus Bauteilkatalog“.	42
Tab 4.3	Bauteile Plattenfundament; Quelle „IBO Passivhaus Bauteilkatalog“.	43
Tab 4.4	Bauteile Flachdach; Quelle „IBO Passivhaus Bauteilkatalog“.....	44
Tab 5.1	Norm-Innentemperaturen; Quelle österreichisches Normungsinstitut, „ÖNORM EN 12831“ (ON, 01 2003).....	47
Tab 5.2	Ergebnis Heizlastberechnung nach Passivhausstandard	49
Tab 5.3	Ergebnis Heizlastberechnung nach Niedrigenergiehaus-Standard.....	50

Tab 5.4	Ergebnis Heizlastberechnung nach OIB 6-Standard	51
----------------	---	-----------

Abkürzungsverzeichnis

A	Fläche
API	Applikationsprogrammschnittstelle
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
EnEV	Energieeinsparverordnung
Fa.	Firma
IWO	innere Wärmeenergie
Jh.	Jahrhundert
Jh. n. Ch.	Jahrhundert nach Christus
L	Länge
max.	maximal
min.	mindestens
NZEB	Nearly Zero Energy Buildings
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket
PV	Photovoltaik
RL	Rücklauf
s.g.	so genannt
Tab	Tabelle
Temp.	Temperatur
TGA	Technische Gebäude Ausrüstung
usw.	Und so weiter
VL	Vorlauf
z.B.	zum Beispiel

1 Übersicht

Das Einführungs-Kapitel gibt Aufschluss über den Beweggrund zu diesem Thema. Es wird die Zielsetzung definiert und gibt einen Überblick zu den einzelnen Kapiteln in dieser Arbeit.

1.1 Motivation

In 25 Jahren Tätigkeit in der Heizungstechnik hatte ich die Möglichkeit von der Planung, über die Installation bis hin zur Inbetriebnahme eine Vielzahl an Systemen kennen zu lernen.

In der Praxis liegt das Hauptaugenmerk auf der Wärmeerzeugung. Neben der thermischen Nutzung der Solarenergie, der Einführung der Holzpellets als Brennstoff oder der derzeitige Höhenflug der Wärmepumpen, gibt es gerade bei diesem Bestandteil eines Heizsystems eine Vielzahl von Neu- und Weiterentwicklungen. Die treibenden Kräfte dafür sind einerseits die Preispolitik der Energielieferanten andererseits die Politik welche mittels Verordnungen¹ und Gesetzen² die Rahmenbedingungen in Richtung Emissionsgrenzen und Umweltschutz vorgeben bzw. durch Förderprogramme die Implementierung neuer Energiegewinnungssysteme am Markt lenken. Eine Vielzahl von Kessel- bzw. Wärmeerzeugerhersteller verstärken durch laufende „Neuentwicklungen“ und intensivem Marketing zusätzlich den Fokus die Energiegewinnung.

Die Art der Wärmeabgabe wird zweitrangig behandelt. Im Einfamilienhausbau kommen hauptsächlich Heizkörper oder Flächenheizungen zur Anwendung, wobei die Auswahl abhängig von der Wahl der Wärmeerzeugung und den finanziellen Möglichkeiten des Bauherren sind.

Am wenigsten Beachtung findet der Transport und die Verteilung der Energie vom Wärmeerzeuger zu den Verbrauchern. Es wird zwar in der Fachwelt in starr und dynamisch abgeglichenen Systemen unterteilt und das Thema hydraulischer Abgleich in zahlreichen

¹ „RIS - Gesamte Rechtsvorschrift für Steiermärkische Feuerungsanlagenverordnung – StFanIVO 2016 - Landesrecht konsolidiert Steiermark, Fassung vom 21.05.2017“, zugegriffen 21. Mai 2017, <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20001306>.

² „RIS - Gesamte Rechtsvorschrift für Steiermärkisches Baugesetz - Landesrecht konsolidiert Steiermark, Fassung vom 21.05.2017“, zugegriffen 21. Mai 2017, <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000070>.

Publikationen und Fachbücher auch wissenschaftlich behandelt, in der Praxis wird den Erkenntnissen jedoch wenig Beachtung geschenkt³.

Parallel zur Entwicklung der Heizsysteme stiegen auch die Anforderung an den Bau. Die EU-Richtlinie 10/31/EU zur Energieeffizienz von Gebäuden fordert, dass bis 2020 alle neuen Gebäude und alle größeren Renovierungen als „Nearly Zero Energy Buildings“ (NZEB) ausgeführt werden. Das Niedrigstenergiegebäude ist dann gesetzlicher Neubaustandard in Österreich. Gebäude sollen luftdichter und mit hohen Dämmwerten, auf Passivhaus Niveau, ausgestattet werden. Damit entstehen jedoch andere Anforderungen an die Haustechnik solcher Bauwerke und die Beheizung ist ein Bestandteil vieler weiterer Systeme, um die Behaglichkeit in diesen Gebäuden herstellen zu können.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, aufzuzeigen in wie weit innere Lasten Einfluss auf die Wahl des Heizsystems bei Einfamilienwohnhäusern mit niedrigem Heizenergiebedarf nehmen und unter welchen Voraussetzungen und mit welchen Maßnahmen das Heizsystem in der Lage ist, das Auftreten dieser inneren Lasten auszugleichen, um innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen zu bleiben.

Weiters soll beurteilt werden, ob und wo es für die geschlossene Warmwasserheizung Grenzen gibt, die die Installation einer solchen in Frage stellt. Dabei werden mögliche Alternativen für die Beheizung durchleuchtet. Beurteilung und Vergleiche werden auf rein technischer Ebene durchgeführt. Eine wirtschaftliche Beurteilung und Gegenüberstellung einzelner Alternativen ist nicht Teil dieser Arbeit.

Die Brauchwasserbereitung wird bei all diesen Betrachtungen bewusst von der geschlossenen Warmwasserheizung entkoppelt und in dieser Arbeit nicht weiter behandelt. Da einerseits der Wärmebedarf für eine in einem kurzen Zeitfenster anberaumte Nachheizung von einem Speicher verhältnismäßig große Energiemengen benötigt und andererseits damit das Spektrum auf die Gestaltungsmöglichkeit der Beheizung stark eingeschränkt wird. Bei der Brauchwasserbereitung sind hygienische Aspekte vorrangig zu berücksichtigen und gerade die Brauchwasserbevorratung bietet auch die Möglichkeit überschüssige Energie zu nutzen.

Zusammengefasst sollte diese Arbeit auch dahingehend anregen, bei geänderten Rahmenbedingungen altbewährte Systeme zu hinterfragen, über Alternativen nach zu denken und zu zeigen ob unsere klassischen Berechnungsmethoden für ein Heizsystem mit den

³ „Zehn wichtige Antworten rund um den hydraulischen Abgleich - Hemer“, Abs. 1, zugegriffen 21. Mai 2017, <https://www.hemer.de/leben/energiesparen/117190100000031699.php>.

Anforderungen eines Einfamilienhauses mit niedrigem Wärmebedarf noch ausreichend ist.

1.3 Kapitelübersicht

Im Kapitel 2 wird die Wärmetechnischen Grundlagen und deren Begriffe definiert und betrachtet. Auch ist das Wärmesystem Mensch und die thermische Behaglichkeit Thema dieses Kapitels.

Kapitel 3 definiert die geschlossene Warmwasserheizung, beschreibt deren einzelne Komponenten bzw. liefert eine Zusammenfassung der technischen Daten zu den Bauteilen einer geschlossenen Warmwasserheizung.

Das Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Entwicklung der Einfamilienhäuser in Punkto Heizwärmebedarf und der Definition von inneren Lasten. Dieses Kapitel liefert auch die Beschreibung und die technischen Daten der Bauteile für die nachfolgende Berechnung in Kapitel 5.

Im 5 Kapitel wird anhand von drei Musterhäusern der Wärmebedarf in Abhängigkeit der Außentemperatur dargestellt. Im 2. Schritt erfolgt anhand von drei Referenzräumen die Umsetzung der in den Kapiteln zuvor gewonnen Erkenntnisse. Es werden die Auswirkung der Inneren Lasten betrachtet.

Das Kapitel 6 liefert die Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden aus der Sicht des Verfassers skizziert und zusätzlich wird ein kleiner Ausblick auf die möglichen Weiterentwicklungen zu dieser Thematik gegeben.

2 Wärmetechnische Grundlagen

Wenn zwischen unterschiedlichen Medien oder Körpern ein Temperaturunterschied besteht, fließt die Wärme von der höheren zur tieferen Temperatur. Dies erfolgt so lange bis sich die Temperaturen im Gleichgewicht befinden. Diese Wärmeübertragung kann auf drei Arten erfolgen: Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion. Bei technischen Anlagen wirken oft alle drei Arten der Wärmeübertragung.⁴

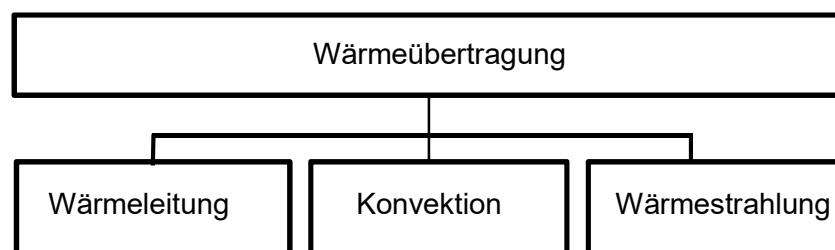


Bild 2.1 Schaubild zur Wärmeübertragung

2.1 Thermische Energie

Die Thermische Energie ist eine Zustandsgröße eines Stoffes mit der Einheit Joule [J]. Sie beschreibt jene Energie die in der ungeordneten Bewegung der Atome bzw. Moleküle eines Stoffes enthalten ist. Die thermische Energie und die Temperatur stehen im Zusammenhang mit der Masse und der spezifischen Wärmekapazität eines Stoffes. Da die spezifische Wärmekapazität wiederum temperaturabhängig ist, ist der Zusammenhang nicht proportional. Bei den Phasenübergängen fest auf flüssig oder flüssig auf gasförmig wird ein Teil der zugeführten Energie für diesen Phasenübergang verbraucht, dabei ändert sich die Temperatur nicht.⁵

⁴ Schlagnitweit und Wagner, *Heizungs-und Lüftungstechnik* (Jugend Volk, 2010), 29/2.38.

⁵ „ForschungsberichtIR.pdf“, o. J., 9.

Verläuft der Phasenübergang in die gegengesetzte Richtung, also von flüssig auf fest, wird praktisch dieselbe Energie frei welche für den Übergang von fest auf flüssig benötigt wurde⁶. Diesen Effekt macht man sich bei der Verwendung des Eisspeichers für Wärmepumpen zu Nutze.

Stoff	Spez. Wärmekapazität in J/(g · K)
Wasser	4,187
Glyzerin	2,43
Beton	0,88
Aluminium	0,91
Gusseisen	0,55
Kupfer	0,39
Luft	1,01
Wasserdampf	1,88

Bild 2.2 Spez. Wärmekapazität⁷

2.2 Wärmeleitung

Wird die Wärme in einem festen Stoff oder einer ruhenden Flüssigkeit von Teilchen zu Teilchen weitergeleitet, wird von Wärmeleitung, Wärmediffusion oder Konduktion gesprochen. Dabei wird die Wärme vom Bereich der höheren Temperatur in den Bereich der niedrigeren Temperatur übertragen. Die durch den Körper übertragene Wärme ist abhängig vom Material des Körpers, der Querschnittsfläche, der Temperaturdifferenz, der Länge (z.B.: Isolierstärke) und der Zeit⁸.

⁶ „Wärmekapazität und Phasenübergänge — Grundwissen Physik“, 4, zugegriffen 22. Mai 2017, <http://grundwissen.de/physik/waermelehre/waermekapazitaet-und-phasenuebergaenge.html>.

⁷ „Was ist eigentlich... : IKZ.DE“, 1, zugegriffen 22. Mai 2017, <http://www.ikz.de/nc/news/article/was-ist-eigentlich-0056702.html>.

⁸ „Wärmeleitung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“, 1, zugegriffen 23. Mai 2017, <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermeleitung>.

Für die Berechnung gilt nachfolgende Gleichung unter der Bedingung, dass zwischen den Bereichen eine konstante Temperaturdifferenz vorliegt und die Wärmeleitung in einem Material erfolgt.

$$Q = \lambda \cdot \frac{A \cdot t \cdot \Delta\vartheta}{l}$$

Q durch den Stoff übertragene Wärme
 λ Wärmeleitfähigkeit des Stoffes
 A Querschnittsfläche
 t Zeit der Wärmeleitung
 l Länge
 $\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz

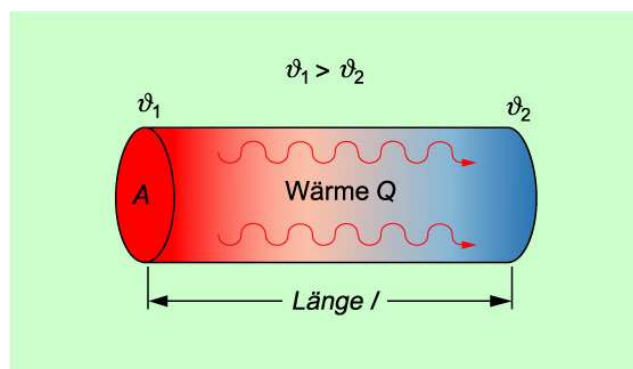


Bild 2.3 Wärmeleitung⁹

In der Gleichung tritt der Begriff **Wärmeleitfähigkeit** auf. Die Wärmeleitfähigkeit ist eine temperaturabhängige Materialkonstante und gibt darüber Aufschluss wie gut ein Stoff/Material in der Lage ist Wärme zu transportieren. Sie wird in einigen Fachbüchern auch als Wärmeleitzahl [W/(m*K)] bezeichnet¹⁰.

Mit der groben Unterteilung in gute und schlechte Wärmeleiter lässt sich ein leichter Überblick verschaffen. Zu den Stoffen mit guten Wärmeleitfähigkeiten zählen Metalle wie Kupfer, Aluminium, Stahl usw., Dämmstoffe hingegen haben eine schlechte Wärmeleitfähigkeit dazu zählen Luft, Wasser, Holz und Kunststoffe. Dämmmaterialien die in der Gebäudedämmung zur Wärmeisolierung eingesetzt werden, haben sehr viel Luft in sich eingeschlossen¹¹.

⁹ Ebd., 2.

¹⁰ „Wärmeleitfähigkeit“, 1, zugegriffen 25. Mai 2017, <http://www.chemie.de/lexikon/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit.html>.

¹¹ „Wärmeleitung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“.

Der nachfolgende Auszug an Materialien und der dazugehörigen Wärmeleitzahl sind im Zusammenhang mit Energie und Gebäude von Bedeutung.

<i>Material</i>	<i>λ-Wert in $W/(m K)$</i>
<i>kompakter Beton</i>	2,1
<i>Porenbeton (Gasbeton)</i>	z. B. 0,2
<i>Ziegelmauerwerk</i>	0,5 bis 1,4
<i>Kalkstein</i>	2,2
<i>Fensterglas</i>	0,75
<i>Stahl</i>	ca. 15 bis 60
<i>Aluminium</i>	200
<i>Kupfer</i>	380
<i>expandiertes Polystyrol (EPS)</i>	0,035 – 0,050
<i>Polyurethan (PUR)</i>	0,024 – 0,035
<i>Glaswolle</i>	0,032 – 0,050
<i>Wasser</i>	0,56
<i>Luft</i>	0,0262

Tab 2.1 Wärmeleitzahl¹²

2.3 Konvektion

Die Konvektion wird in vielen Fachbüchern auch als Wärmeübergang bzw. Wärmeübertragung bezeichnet. Diese Form der Wärmeübertragung beruht auf die Bewegung von Teilchen, welche die Wärmeenergie mit sich führen. Dieser Wärmeaustausch erfolgt zwischen einem festen Körper und einem Fluid (in der Heiztechnik Wasser oder Luft). Die Teilchen werden an der Oberfläche des festen Stoffes durch Wärmeleitung erwärmt oder abgekühlt. Aufgrund der Veränderung des Energiegehaltes der Teilchen sind diese in Bewegung und es kann sich kein thermisches Gleichgewicht einstellen. Die Teilchen werden laufend durch Teilchen ersetzt zu denen ein höheres Temperaturgefälle besteht¹³.

Bei Heizungsanlagen tritt der Wärmeübergang durch Konvektion bei Heizkörpern zur Raumluft statt. Die Teilchen der Raumluft erwärmen sich und steigen nach oben von unten strömen „kältere“ Teilchen nach und erwärmen sich erneut am Heizkörper um danach

¹² „RP-Energie-Lexikon - Wärmeleitfähigkeit, Wärmeleitzahl, Materialien, spezifische, Wärmeleitfähigkeitsgruppe, Wärmewiderstand“, 1, zugegriffen 25. Mai 2017, <https://www.energie-lexikon.info/waermeleitfaehigkeit.html>.

¹³ „ForschungsberichtIR.pdf“, 9.

nach oben zu steigen. Es entsteht eine Luftströmung, über die die Wärme im Raum verteilt wird.



Bild 2.4 Konvektion¹⁴

Bei konstanter Temperaturdifferenz kann die bei der Konvektion übertragene Wärme mit folgender Gleichung berechnet werden.

$$Q = \alpha \cdot A \cdot t \cdot \Delta\vartheta$$

Q übertragene Wärme

α Wärmeübergangskoeffizient

A Querschnittsfläche

t Zeit

$\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz

Bild 2.5 Wärmeübertragung¹⁵

In der Gleichung tritt der Begriff **Wärmeübertragungskoeffizient** auf. Der Wärmeübertragungskoeffizient [W/m²*K] ist keine Stoffkonstante wie die Wärmeleitzahl, sondern hängt stark von den in der Umgebung herrschenden Bedingungen, wie Strömungsart und -geschwindigkeit, Oberflächenbeschaffenheit und geometrische Struktur des um- oder durchströmten Körpers, ab¹⁶.

Im Bauwesen wird der Wärmeübergangskoeffizient häufig als Konstante angegeben. Dies ist zwar genaugenommen falsch, die Auswirkung auf die Berechnung des Wärmebedarfs

¹⁴ „cache_2433228453.jpg (300×231)“, zugegriffen 25. Mai 2017, http://energieinforma.info/s/cc_images/cache_2433228453.jpg?t=1360278970%22.

¹⁵ „Wärmeleitung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“, 2.

¹⁶ „Wärmeübergangskoeffizient Beschreibung und Berechnung“, zugegriffen 25. Mai 2017, <http://www.ib-rauch.de/bauphysik/formel/warmkoef2.html>.

ist jedoch vernachlässigbar, da der Hauptwärmewiderstand im Wärmedurchgang und nicht im Wärmeübergang liegt¹⁷.

Die nachfolgende Tabelle ist ein Auszug von „mittleren Wärmeübergangskoeffizienten“ wie sie im Bauwesen für Berechnungen Anwendung finden.

<i>Körper</i>	<i>α- Wert in $W / (m^2 \cdot K)$</i>
<i>Außenflächen Fenster</i>	12
<i>Innenflächen Fenster</i>	8
<i>Außenflächen geschlossener Räume</i>	23
<i>Innenflächen geschlossener Räume</i>	7
<i>Ruhendes Wasser um Rohre</i>	350...600
<i>Siedendes Wasser an Metallflächen</i>	3500...6000
<i>Siedendes Wasser in Rohren</i>	4700...7000

Tab 2.2 Wärmeübergangskoeffizienten¹⁸

2.4 Wärmedurchgang

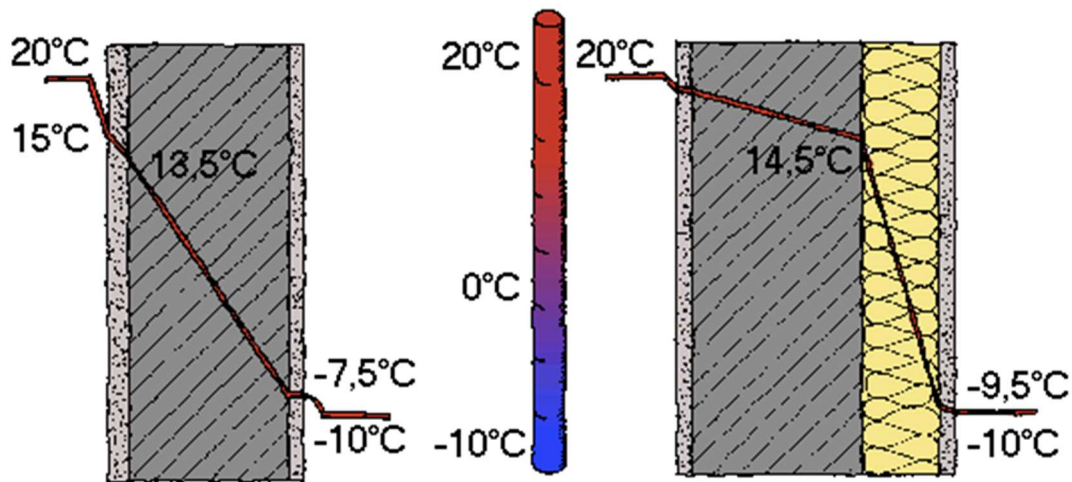
Wird Wärme von einem Fluid (z.B. Luft, Wasser) durch eine Begrenzungsfläche auf eine anderes Medium übertragen wird dies als Wärmedurchgang bezeichnet. Der Wärmeaustausch kann durch Wärmeleitung, Wärmeübergang oder Wärmestrahlung erfolgen¹⁹.

Ein gutes Beispiel für den Wärmedurchgang ist die Übertragung von Wärme aus der Raumluft, über die Außenmauer eines Gebäudes, an die Außenluft. Der Übergang von der Raumluft an die Innenseite der Außenmauer erfolgt hauptsächlich durch Wärmeübergang. Durch die unterschiedlichen Bauteile eines Mauerwerkes wird die Wärme durch Wärmeleitung transportiert, der dabei auftretende Wärmedurchgangswiderstand ergibt sich aus der Summe der Einzelwiderstände der Bauteile. Der Übergang von der Außenseite der Mauer an die Außenluft erfolgt wieder durch Wärmeübergang.

¹⁷ „Wärmeübergangskoeffizient“, *Wikipedia*, 11. Dezember 2016, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=W%C3%A4rme%C3%BCbergangskoeffizient&oldid=160538751>.

¹⁸ „Wärmeübergangskoeffizient Wertetabellen“, zugegriffen 25. Mai 2017, <http://www.formel-sammlung.de/formel-Waermeuebergangskoeffizient-3-25-162.html>.

¹⁹ „Wärmeleitung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“, 3.

Bild 2.6 Wärmedurchgang²⁰

Der Wärmedurchgang kann vereinfacht mit nachfolgender Formel berechnet werden.

$$Q = k \cdot A \cdot t \cdot \Delta\vartheta$$

Q übertragene Wärme

k Wärmedurchgangskoeffizient

A Querschnittsfläche

t Zeit

$\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz

Bild 2.7 Wärmedurchgangskoeffizient²¹

In der Formel taucht der Begriff **Wärmedurchgangskoeffizient** auf. Der Wärmedurchgangskoeffizient [W /K*m²] auch U-Wert und veraltet auch k-Wert genannt, ist ein Maß für die Wärmedurchlässigkeit eines Bauwerkes. Es wird damit angegeben welche Wärmeleistung pro Quadratmeter durch ein Bauteil strömt.

Je niedriger der U-Wert umso höher ist der Wärmewiderstand und damit die Dämmwirkung des Baustoffes. Bei Materialkombinationen werden die Kehrwerte der U-Werte sum-

²⁰ „pdmwert1.gif (549×243)“, zugegriffen 25. Mai 2017, <http://www.bund-bauen-energie.de/bilder/pdmwert1.gif>.

²¹ „Wärmeleitung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“, 4.

miert und man erhält den Wärmedurchlasswiderstand. Die Baustoffhersteller geben zu Ihren Produkten die U-Werte an. Diese stehen anschließend in umfangreichen Tabellen zur Wärmebedarfsberechnung zur Verfügung²².

Nachfolgende Tabelle stellt einen Auszug der U-Werte verschiedener Bauelemente dar.

<i>Bauelement</i>	<i>U-Wert in W/(m² K)</i>
<i>Stahlbetonwand mit 25 cm Dicke</i>	9
<i>Wand aus Porenbeton mit 25 cm Dicke</i>	ca. 0,4 bis 1
<i>Wand aus hochporösen Ziegeln mit 25 cm Dicke</i>	ca. 0,4
<i>Wand aus Massivholz, 25 cm dick</i>	ca. 0,4
<i>Polyurethan-Hartschaumplatte, 20 cm</i>	0,15
<i>Standard-Fenster mit Wärmeschutzverglasung</i>	ca. 1,2
<i>Passivhaus-Fenster</i>	0,5 – 0,8

Tab 2.3 U-Werte²³

2.5 Wärmestrahlung

Jeder Körper sendet abhängig von seiner Temperatur Wärmestrahlung aus. Die Wärmestrahlung ist ein Teil aus dem breiten elektromagnetischem Spektrums (siehe hierzu Bild 2.8). Diese Form der Wärmeübertragung ist im Gegensatz zur Wärmeleitung und Konvektion nicht an Materie gebunden, sondern ist auch im Vakuum möglich. Das beste Beispiel ist die Sonnenstrahlung die sich in sichtbares Licht, UV-Strahlung und Infrarotstrahlung unterteilt²⁴. Aber auch wenn ein Körper der kein sichtbares Licht abstrahlt ist er in der Lage, erhebliche Energiemengen in Form von Wärmestrahlung abzugeben. Die abgestrahlte Leistung ist von der Größe und Beschaffenheit der Oberfläche abhängig. Blanke Metalloberflächen geben weniger Wärmestrahlung ab als lackierte Oberflächen. Es besteht auch der direkte Zusammenhang darin, dass Oberflächen mit starker Infrarotabstrahlung in der Lage sind diese zu absorbieren. Ein gutes Beispiel dafür sind die schwarz lackierten Absorberflächen eines thermischen Sonnenkollektors.

²² „RP-Energie-Lexikon - Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert, k-Wert, Berechnung, Wärmedämmung, effektiver U-Wert“, zugegriffen 25. Mai 2017, <https://www.energie-lexikon.info/waermedurchgangskoeffizient.html>.

²³ Ebd.

²⁴ „ForschungsberichtIR.pdf“, 10.

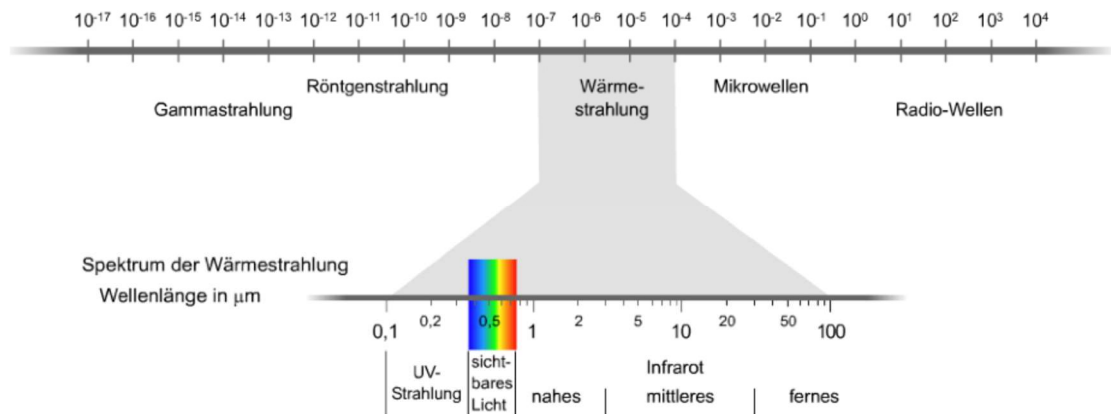
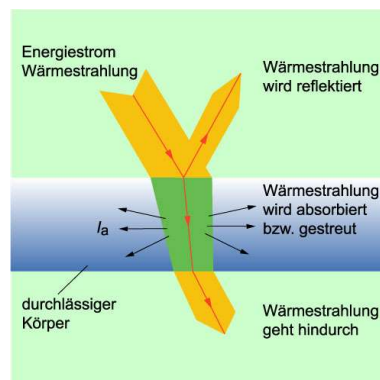


Bild 2.8 Elektromagnetische Spektrum²⁵

Die von einem Körper abgegebene Strahlung transportiert Energie. Diese Energie wird durch die sinkende Temperatur des Körpers messbar, sofern keine Energie nachgeliefert wird. Wärmestrahlung pflanzt sich geradlinig fort. Trifft die Wärmestrahlung auf Gegenstände kann abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit die Strahlung absorbiert, reflektiert oder gestreut werden. Die aufgenommene Energie führt zur Erwärmung des



Körpers.

Bild 2.9 Wärmestrahlung²⁶

Bei der Wärmestrahlung wird somit Wärmeenergie in Strahlung umgewandelt. Damit kann Wärme(energie) transportiert werden, ohne dass diese als Wärme bezeichnet werden kann. Wärme entsteht erst, wenn die Wärmestrahlung auf einen Gegenstand trifft, welcher in der Lage ist, diese wenn auch nur teilweise zu absorbieren²⁷.

²⁵ Ebd.

²⁶ „Wärmestrahlung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“, zugegriffen 27. Mai 2017, <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermestrahlung>.

²⁷ „RP-Energie-Lexikon - Wärmestrahlung, Infrarotlicht, Strahlungswärme, Infrarotstrahlung, Strahlungsklima“, zugegriffen 27. Mai 2017, <https://www.energie-lexikon.info/waermestrahlung.html?s=ak>.

Die Oberflächentemperatur des strahlenden Körpers bestimmt die spektrale Verteilung der Strahlungsintensität. Je höher die Oberflächentemperatur ist, desto weiter verschiebt sich das Intensitätsmaximum hin zu kürzeren Wellenlängen. (Plancksches Strahlungsspektrum)²⁸

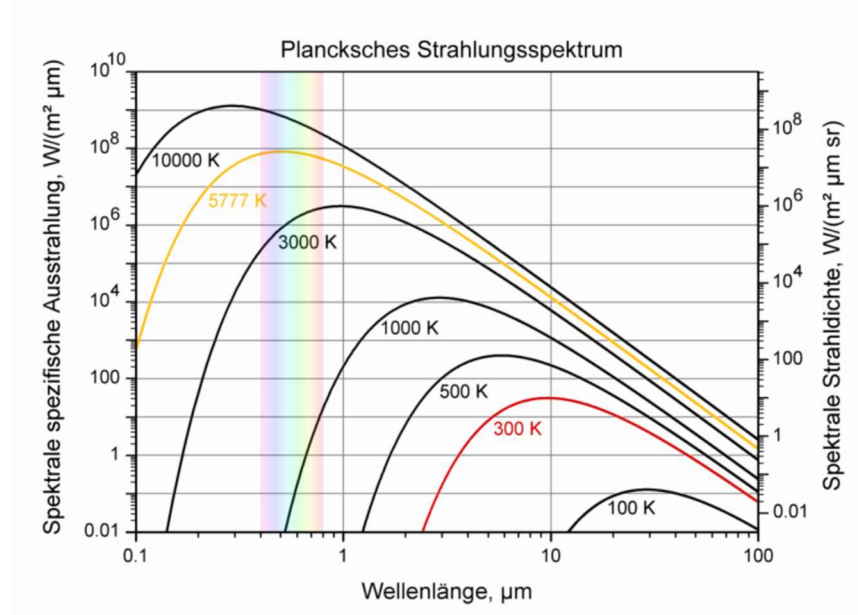


Bild 2.10 Strahlungsspektrum des idealen schwarzen Körpers²⁹

Das Strahlungsspektrum in idealisierter Form bedeutet, dass es vollständig abgestrahlt wird, was in der Praxis praktisch nicht vorkommt, da es auch immer zu Abstrahlverlusten kommt. Bei den in der Realität vorkommenden, so genannten „grauen Körpern“, wird die Abstrahlung mit einem Faktor, dem Emissionswert, zwischen 0 und 1 multipliziert. Das in rot bei 300 K dargestellte Strahlungsspektrum entspricht dem eines Menschen, das in gelb bei 5777 K dargestellte entspricht dem der Sonne.

Die Strahlungsleistung eines Körpers lässt sich über das stefan-boltzmannsche Gesetz wie folgt berechnen.

$$P_s = a \cdot A \cdot T^4$$

$$a = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \text{ (STEFAN-BOLTZMANN-Konstante)}$$

A Fläche, von der Strahlung ausgeht

T Temperatur des strahlenden Körpers in Kelvin

Bild 2.11 Stefan-Boltzmann Gesetz³⁰

²⁸ „ForschungsberichtIR.pdf“, 10.

²⁹ Ebd., 11.

³⁰ „Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“, 1, zugegriffen 27. Mai 2017, <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/strahlungsgesetz-von-stefan-und-boltzmann>.

Im Strahlungsgesetz ist nicht berücksichtigt, dass ein Körper, welcher Wärmestrahlung abgibt, auch Wärmestrahlung absorbiert. Daraus ergibt sich, dass sich die tatsächlich abgegebene Leistung aus der Differenz der abgegebenen zur aufgenommenen Leistung ergibt.

Je nach Verhältnis der beiden Leistungen zueinander, sind drei Zustände möglich³¹:

- Ist die abgegebene Leistung höher als die absorbierte kühlt sich der Körper dabei ab.
- Ist die abgegebene Leistung gleich der absorbierten befindet sich der Körper im Strahlungsgleichgewicht zu seiner Umgebung.
- Ist die abgegebene Leistung geringer als die absorbierte erwärmt sich der Körper.

2.6 Das wärmetechnische System Mensch

Aus technischer Sicht ist der menschliche Körper ein biologischer Reaktor. Seine Betriebstemperatur beträgt rund $37^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{K}$. In der Leber und der Niere laufen die stärksten chemischen Reaktionen ab, daher sind an diesen die höchsten Temperaturen zu messen. Die geringsten Temperaturen sind auf der Hautoberfläche zu messen. Am empfindlichsten ist unser Gehirn, denn es benötigt einen Temperaturbereich zwischen 35°C und $40,5^{\circ}\text{C}$. Ab 41°C beginnt die Gewebeerstörung durch Verformung der Eiweißstrukturen. Fällt die Körpertemperatur unter 34°C beginnt Schritt für Schritt eine Funktionseinschränkung und bei 25°C tritt in Folge von Atmungsstörungen der Tod ein. Schon bei 33°C Körpertemperatur ist der Körper nicht mehr in der Lage, in Folge der Stoffwechselreduktion, seine Temperatur zu regulieren.

In unserm Körper wird durch Verbrennung (Oxidation) von Nahrung, Wärme erzeugt. Jede unserer Bewegungen benötigt ebenfalls Energie, die wir aus unserer Nahrung gewinnen. Durch den schlechten Wirkungsgrad unserer Muskulatur werden 80% dieser Energie in Wärme umgewandelt, diese muss in die Umgebung abgeführt werden. Durch den Blutkreislauf wird diese Wärme an die Hautoberfläche transportiert und von dieser in Form von Strahlungswärme und Konvektion an die Umgebung abgegeben. Ist die Haut nicht mehr in der Lage, trotz Erhöhung der Durchblutung bis auf das Zwölfwache des normalen Wertes, die Wärme abzuführen, wird dem Körper durch Phasenumwandlungswärme Energie entzogen. Der Mensch beginnt zu schwitzen.

³¹ „Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“.

Die Wärmeabgabe bei einem ruhenden Menschen in einer Umgebung mit 20° C teilt sich wie folgt auf

- 46% Strahlung
- 33% Konvektion
- 19% Schwitzen
- 2% Atmung.

Ändern sich die Umgebungsbedingungen, verschieben sich die Anteile. (z.B.: Wind erhöht die Konvektion, Sport erhöht den Anteil des Schwitzens)

Im Bild 2.12 wird der abgegebene Wärmestrom bei unterschiedlichen Tätigkeiten in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur eines Menschen mit 75 kg dargestellt. Der schraffierte Bereich stellt die Wärmeabgabe durch Schwitzen dar. Im darunterliegenden Bereich wird die Wärmeabgabe durch Strahlung und Konvektion dargestellt. Dieser Anteil geht bei einer Umgebungstemperatur von 36° C gegen Null und es ist keine Wärme Abgabe durch Konvektion oder Strahlung mehr möglich.

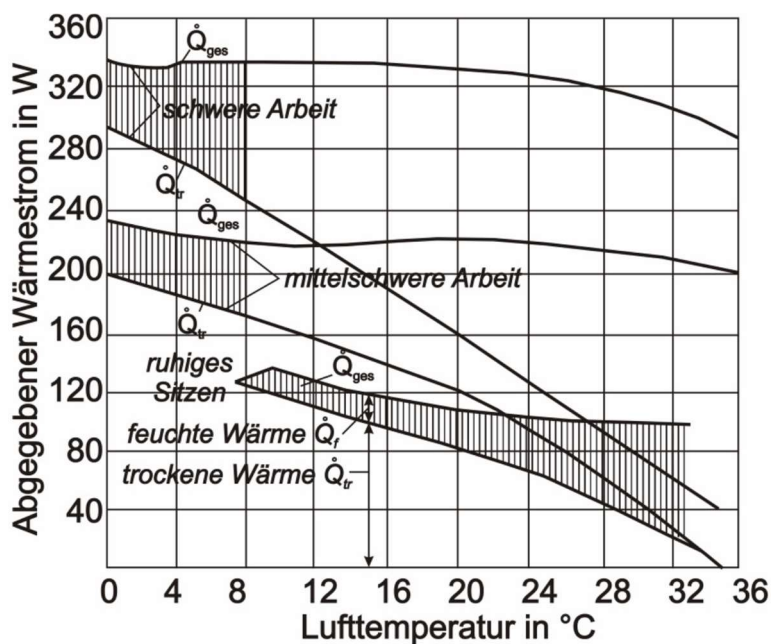


Bild 2.12 Wärmeabgabe des Menschen³²

Die Wärmemenge, welche notwendigerweise abgeführt werden muss, hängt von der Art der Tätigkeit und von der Größe der Körperoberfläche, somit direkt von der Körpergröße ab. Die Oberfläche eines durchschnittlichen Menschen beträgt ca. 2 m².

³² „Der Mensch als waermetechnisches System.pdf“, 4, zugegriffen 27. Mai 2017, http://www.uni-magdeburg.de/isut/TV/Download/Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf.

Auch beim menschlichen Körper lässt sich der Wärmestrom über den Wärmedurchgangskoeffizienten multipliziert mit der Fläche und der Temperaturdifferenz von der Hautoberfläche zur Umgebungstemperatur berechnen.

Bei einer Umgebungstemperatur von ca. 26° C fühlt sich der nackte Mensch am wohlsten. Dies hängt damit zusammen, dass der Mensch einen Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. 10 W/(m²*K) hat und über die oben angeführte Berechnungsmethode ein Wärmestrom von 120 W. Bei höheren Temperaturen wird der Anteil der Wärmeabgabe durch Schwitzen erhöht. Bei kälterer Umgebung und die damit verbundene höhere Wärmeabgabe, muss der Wärmedurchgangskoeffizient verringert werden um dem entgegen zu wirken. Dies kann durch entsprechende Bekleidung erfolgen, je nach Art der Kleidung kann damit der k-Wert halbiert oder um 2/3 gesenkt werden.

Damit der Mensch Temperaturen wahrnehmen kann besitzt er s.g. Wärme- und Kältepunkte mit einer sehr hohen Messgenauigkeit, jedoch geringen Messbereich von ca. 8° C bis 37° C bei den Kältesensoren und 37° C bis 50° C bei den Wärmesensoren. Über 50° C wird die Temperatur als Schmerz empfunden. Die Wärme- und Kältepunkte befinden sich in der Haut und sind in unterschiedlicher Dichte verteilt. Die höchste Dichte finden wir auf den Lippen, die geringste und damit am Temperatur unempfindlichsten sind die Waden³³.

2.7 Behaglichkeit

Behaglichkeit ist ein allgemeiner Überbegriff und kann auch mit Wohlbefinden bezeichnet werden. Zur Behaglichkeit können sehr viele Faktoren beitragen, neben Licht, Farbe, Sauberkeit usw. kommen noch gebäudetechnische Behaglichkeitskriterien zu tragen. Diese sind Raumluftqualität, Raumlufttemperatur, Strahlungstemperatur der Umgebung, relative Luftfeuchte, Luftströmung und Lufttemperaturverteilung³⁴.

Gerade bei der thermischen Behaglichkeit ist das empfinden sehr subjektiv und hängt mit einigen Faktoren und deren Wechselwirkung zusammen. Betrachtet man eine Raum so steht der Mensch im Strahlungsaustausch mit mehreren Flächen unterschiedlicher Temperatur. So strahlt der Mensch Energie in Richtung kühlerer Flächen wie Fenster, Wände, usw. ab und nimmt Strahlungswärme von warmen Flächen wie Heizkörper, usw. auf. Eine relativ hohe Raumlufttemperatur von ca. 25° C wird bei kalter Umschließungstemperatur

³³ „Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf“.

³⁴ „ForschungsberichtIR.pdf“.

der Wände als kühl empfunden wo hingegen bei Wandtemperaturen von 22°C bis 28°C und einer Lufttemperatur von 15°C diese als behaglich empfunden wird.

Im Bild 2.13 sind diese Zusammenhänge grafisch dargestellt. Der schraffierte Bereich stellt die Temperaturen dar, welche noch als behaglich empfunden werden.

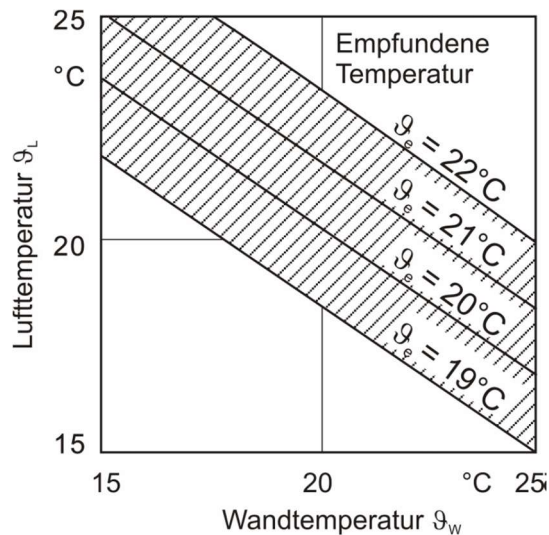


Bild 2.13 Behaglichkeitsfeld empfundener Temperatur in Räumen³⁵

Wenn Oberflächentemperaturen an den Raumwänden starke Unterschiede aufweisen, kann zwar die durchschnittliche Strahlungstemperatur der Umgebung im Behaglichkeitsbereich liegen, entsteht durch diese Strahlungstemperaturasymmetrie ein Unbehagen. Diese Asymmetrie wird schon bei Temperaturunterschieden von 19 K als störend empfunden und kann durch eine falsche bzw. ungünstige Positionierung von Heizflächen mit hohen Temperaturen gegenüber Fensterflächen entstehen. Auch bei der Montage von Heizflächen an der Decke ist darauf zu achten, dass ein ausreichender Abstand (mind. 1m) zur Kopfposition eingehalten wird³⁶.

Neben der Strahlung hat auch die Luftbewegung im Raum Einfluss auf die empfundene Temperatur. Durch die Luftbewegung erhöht sich die durch Konvektion abgeführte Wärme und man empfindet die Raumtemperatur als kühler. Zusätzlich hat natürlich auch die Art der Tätigkeit einen Einfluss auf das Behaglichkeitsempfinden. Bei leichten Arbeiten im Stehen sind 21°C und eine Luftgeschwindigkeit von 0,3 m/s im Behaglichkeitsbereich.

³⁵ „Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf“, o. J., 9.

³⁶ „ForschungsberichtIR.pdf“, 14.

Hingegen bei sitzender Tätigkeit und derselben Raumtemperatur werden Luftgeschwindigkeiten von 0,17 m/s als Zug empfunden.

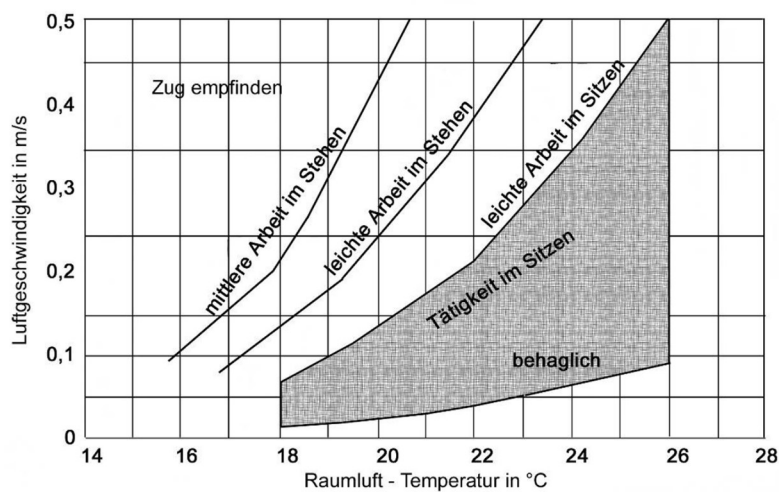


Bild 2.14 Behaglichkeit Luftgeschwindigkeit/ Raumlufthtemperatur³⁷

Auch die Luftfeuchtigkeit in Kombination mit der Raumtemperatur hat einen erheblichen Einfluss auf die Behaglichkeit. So wird eine relative Luftfeuchte von 60% bei 18° C als noch behaglich empfunden. Erhöht man die Raumtemperatur auf 24° C liegt man außerhalb des Behaglichkeitsbereichs und ist knapp an der Schwülgrenze.

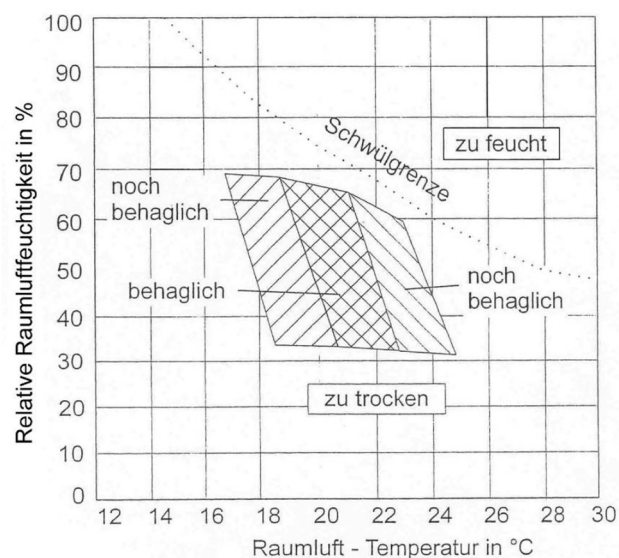


Bild 2.15 Behaglichkeitsfeld Raumlufthtemperatur/relative Luftfeuchtigkeit³⁸

³⁷ „Der Mensch als waermetechnisches System.pdf“, o. J., 10.

³⁸ Ebd.

3 Geschlossene Warmwasserheizung

In modernen Wohnhäusern werden die einzelnen Räume über eine Zentrale Warmwasserheizung mit Wärme versorgt. Die Wärme wird in einem Wärmeerzeuger erzeugt und unter Nutzung der hohen spezifischen Wärmekapazität von Wasser, über ein Rohrsystem in die Räume transportiert und durch Wärmeabgabesysteme an die Raumluft abgegeben³⁹. In diesem Kapitel werden wir die Anlagenteile definieren bzw. deren Eigenschaften zusammenfassen. Diese gesammelten Daten bilden dann die Grundlage zu den weiteren Kapiteln dieser Arbeit.

3.1 Geschichtliche Entwicklung und Stand der Technik

Geschlossene Heizungsanlagen sind Anlagen bei denen das Heizungswasser nicht in offener Verbindung mit der Atmosphäre stehen⁴⁰. Der Anlagendruck wird über ein Ausdehnungsgefäß im System annähernd konstant gehalten. Die maximale Betriebstemperatur einer Warmwasserheizung liegt bei 105° C⁴¹.

Schon seit der Ur- und Frühgeschichte haben Menschen Räume beheizt. Ein offenes Feuer diente dabei als Energiequelle. Schon die Römer schafften es Ende des 1. bis zum 4. Jh. n. Chr. mit den Hypokausten Heizungen, Fußböden zu erwärmen. Damit wurde der Grundstein einer Zentralen Beheizungsstelle und einem dazugehörigen Verteilsystem geschaffen. Diese Form der Warmluftheizung ist nicht nur die Basis für den Kachelofenbau, sondern damit wurde neben der Beheizung des Fußbodens auch die Vorzüge einer zentralen Wärmequelle begründet.

Erst mit der industriellen Entwicklung im 18. und 19. Jh. kamen neue Impulse in die Entwicklung der zentralen Heizsysteme. Durch die Nutzung der Energie des Wasserdampfes entstanden die ersten dampfbetriebenen Zentralheizungen. Erst im 20. Jh. wurden aus den Dampfheizungen Warmwasserheizungen, die sich dann auch im Wohnbau verbreiteten.

Die fortschreitende Industrialisierung brachte auch Änderungen bei den verwendeten Brennstoffen. Die bis dato verwendeten Brennstoffe Holz und Kohle wurden durch Öl und

³⁹ „Warmwasserheizung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“, zugegriffen 10. Mai 2017, <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/warmwasserheizung>.

⁴⁰ „ÖNORM EN 12828_2013.pdf“, o. J., Abschn. 3.1.21.

⁴¹ Schlagnitweit und Wagner, *Heizungs- und Lüftungstechnik*, 78 / 14.2.

Gas ersetzt. Entsprechende Verbrennungsgeräte wurden entwickelt und die Automatisierung nahm in der Heizungstechnik Einzug. Die Erdölkrise in den 1970er Jahren brachte einen weiteren Impuls zu alternativen Methoden der Wärmeerzeugung. Thermische Solar-systeme, Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplungen erweiterten das Spektrum der Wärmeerzeugung. Mit dem steigenden Umweltbewusstsein und den damit verbundenen Rahmenbedingungen der Politik wurden die Heizsysteme weiterentwickelt. Mit der Zielsetzung grundsätzlich den Heizwärmebedarf der Gebäude zu reduzieren, Ressourcen zu schonen und den Schadstoffausstoß zu minimieren⁴².

Erneuerbare Energie ist nun das Schlagwort und beschränken sich nicht mehr nur auf die Energieerzeugung zu Heizzwecken, sondern versorgt mit Photovoltaik und Speichersystemen nun auch die elektrischen Anlagen eines Gebäudes.

3.2 Wärmeerzeugung

In Österreich werden (Stand 2013) fast 30% des energetischen Endverbrauchs für die Beheizung der Wohnräume und für die Warmwasserbereitung aufgewendet. Davon werden 30,3% erneuerbarer Energie, 24% Gas, 21% Fernwärme und 15,9% Öl als Energiequelle genützt.

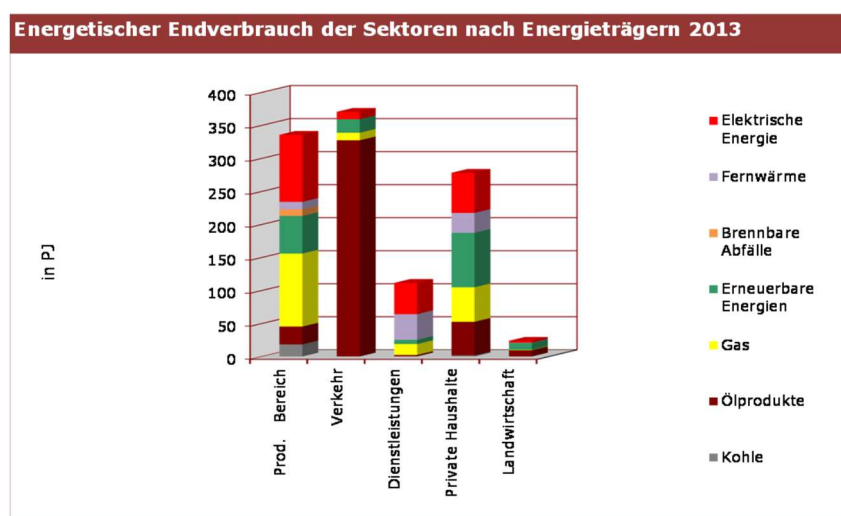


Bild 3.1 Energetischer Endverbrauch⁴³

⁴² Martin Illi, „Heizung“, *HLS-DHS-DSS.CH*, 1, Zugriff am 22. Mai 2017, <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D16231.php>.

⁴³ „Energiestatus Österreich 2015.pdf“, Zugriff am 6. Juni 2017, <https://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/Documents/Energiestatus%20%C3%96sterreich%202015.pdf>.

Aus den Erhebungen geht weiters hervor, dass im Vergleich zu den Jahren 2009-2012 für die Beheizung von Wohnräumen die Energiequellen Kohle, Strom, Öl und Gas zurückgegangen sind. Die Holzheizung in Form von Stückholz, Pellets und Hackschnitzel ist in diesem Zeitraum leicht gewachsen. Die größten Gewinner waren Solar- & Wärmepumpennutzung. Die Wärmeversorgung über Fernwärme im Bereich der Wohnungsverorgung der Städte, sowie durch Kleinnetze im ländlichen Raum, hat stark zugenommen⁴⁴.

Das nachfolgende Unterkapitel beleuchtet zu den Energiequellen die am Markt angebotene Erzeugungsapparate. Dabei ist für die weiterführende Arbeit die Art der Wärmeerzeugung, die dabei notwendigen bzw. entstehenden Temperaturen und Energiemengen, sowie mögliche und nötige Speicherung der erzeugten bzw. gewonnen Energie von Interesse. Um einen Überblick zu schaffen teilen wir die Wärmeerzeuger nach der genutzten Primärenergie wie folgt ein:

- Erneuerbare Energie: (Biomasse, Erd-/Luftwärme, ...)
- Fossile Energie: (Erdöl, Erdgas, ...)

3.2.1 Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen

Im Bereich der erneuerbaren Energiequellen bietet sich ein breites Spektrum an Systemen die sich voneinander stark unterscheiden. Im Wesentlichen beschäftigt sich diese Arbeit mit Wärmeerzeugern für Zentrale Beheizung im untersten Leistungsbereich.

3.2.1.1 Biomasse

Bei der Energiegewinnung aus Biomasse wird durch Verbrennung von Holz bzw. Holzprodukten Wärme erzeugt. Der Brennstoff Holz kann in Form von Stückholz, Hackgut oder Pellets in eigens dafür konstruierten Heizkesseln verbrannt werden. Die Zufuhr des Brennstoffes kann stückweise mit der Hand oder wie im Fall von Hackgut und Pellets kontinuierlich mittels Zubringe-Systemen, dem Leistungsbedarf angepasst, zugeführt werden. Durch gezielte Zuführung von Primär- und Sekundärluft verläuft die Verbrennung stufenweise. Für eine Schadstoffarme und vollständige Verbrennung ist die Feuchtigkeit des Brennstoffes sowie das Sauerstoff Angebot ausschlaggebend. Die Verbrennungstemperatur muss mindestens 800° C betragen und die an der Reaktion beteiligten Bestandteile benötigen in der Abbrand Zone eine Verweilzeit von min. 2 Sekunden⁴⁵.

⁴⁴ Ebd.

⁴⁵ „0758_00.pdf“, zugegriffen 6. Juni 2017, http://www.josephinum.at/fileadmin/content/BLT/Publikationen/0758_00.pdf.

Der Markt für Biomassekessel ist immer wieder starken Schwankungen ausgesetzt. Ausschlaggebend dafür sind die Preisentwicklungen am Energieweltmarkt und auch die Ausschüttung öffentlicher Fördermittel.

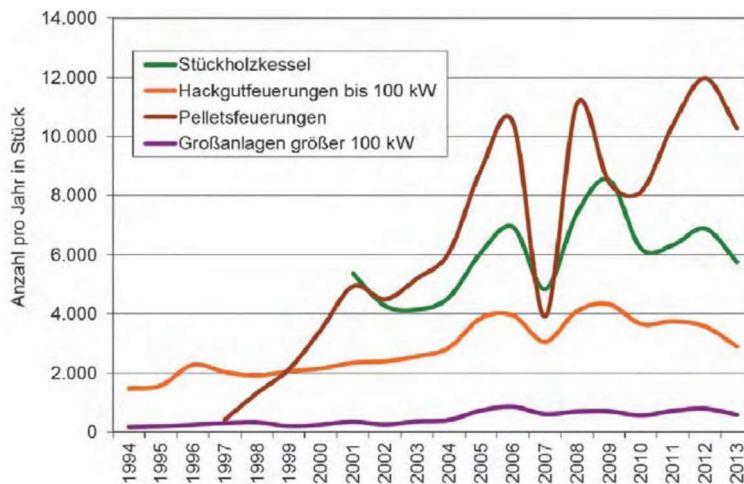


Bild 3.2 Marktentwicklung Biomassekessel in Österreich⁴⁶

Durch die Energieerzeugung mittels Verbrennung und der daraus resultierenden hohen Verbrennungstemperaturen, sind Biomasseanlagen in der Lage ein Zentralheizungssystem auch mit Temperaturen von 70° C-80° C zu versorgen. Bei Biomasseanlagen ist man somit bei der Wahl des nachfolgenden Wärmeabgabesystems nicht eingeschränkt.

Biomasseanlagen werden ab folgenden Nennwärmeleistungen angeboten:

- Stückholzkessel⁴⁷ ab 13 kW
- Pelletkessel (Wandgerät)⁴⁸ ab 5 kW
- Hackschnitzelkessel⁴⁹ ab 10 kW

Für Biomasseanlagen muss der dafür benötigte Brennstoff, nach den örtlich vorgegebenen Vorschriften der Lagerung, zumindest eine Jahresmenge gelagert werden. Im Energie-Verteilssystem ist es zielführend durch Einsatz von Lastausgleich-/Pufferspeichern, den Verbrennungsprozess zu unterstützen und Leistungsspitzen auszugleichen.

⁴⁶ „2014-PV-Marktstatistik_2013.pdf“, 21, zugegriffen 6. Juni 2017, http://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/2013/07/2014-PV-Marktstatistik_2013.pdf.

⁴⁷ „Scheitholzheizung - Holzvergaser Scheitholz | LogWIN Premium Touch“, *Windhager Zentralheizungen*, zugegriffen 6. Juni 2017, <http://www.windhager.com/at/produkte/holz/logwin-premium-touch/>.

⁴⁸ „GUNTAMATIC Pelletheizung THERM I Heizen mit Pellets, Holzpellets“, zugegriffen 6. Juni 2017, <http://www.guntamatic.com/nc/pelletheizung/therm-5710/>.

⁴⁹ Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, und Hermann Hofbauer, *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren* (Springer-Verlag, 2016), 878.

3.2.1.2 Erd-/Luftwärme (Wärmepumpe)

Bei der Wärmepumpe wird Wärmeenergie aus dem Erdreich, aus der Luft oder aus dem Wasser mit Hilfe von elektrischer Energie, als Antriebskraft für den Verdichter, auf eine für Heizzwecke geeignete Temperatur gebracht. Ein in einem geschlossenen Kreislauf befindliches Arbeitsmittel (Kältemittel) wird in gasförmigen Zustand komprimiert und im flüssigen Zustand expandiert, dabei verschiebt sich die Siedetemperatur. Das flüssige entspannte Kältemittel mit niedriger Siedetemperatur wird im Verdampfer durch Zuführen der Energie aus dem Erdreich, der Luft oder dem Wasser (Verdampfungswärme) wieder gasförmig. Nach dem Verdichten wird im Verflüssiger das Arbeitsmittel durch Wärmeabgabe wieder flüssig und gibt damit die Kondensationswärme an ein Heizsystem ab. Nach dem Expansionsventil beginnt der Prozess wieder von Neuem⁵⁰.

Die Marktentwicklung der Wärmepumpe für Heizzwecke kann in Österreich seit dem Jahr 2000 einen kontinuierlichen Anstieg verzeichnen. Durch die Möglichkeit der Raumkühlung und die Kombinationsmöglichkeit mit PV-Anlagen, erweitern natürlich den Einsatzbereich der Wärmepumpen⁵¹.

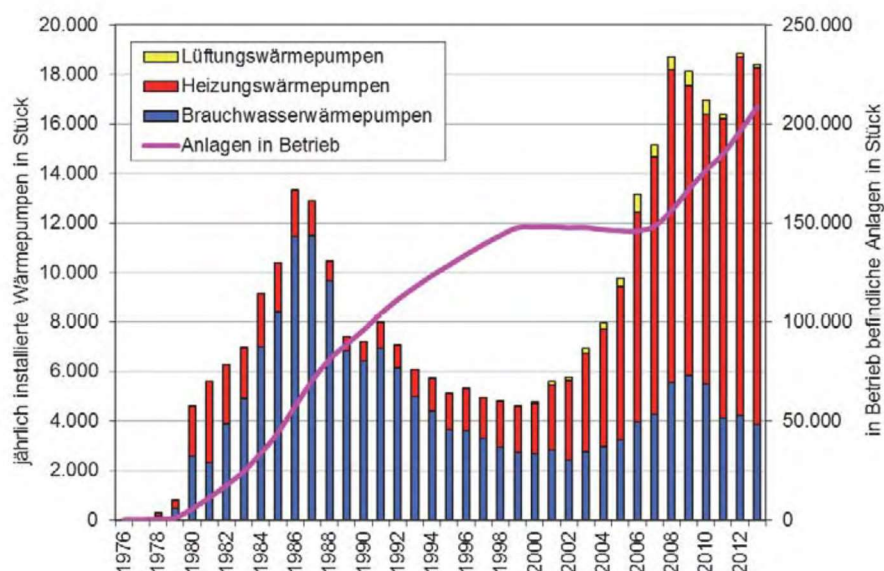


Bild 3.3 Die Entwicklung der Wärmepumpen in Österreich bis 2013⁵²

Bei Wärmepumpenanlagen entfallen Lagerräume für Brennstoffe. Die Wärmepumpe kann entweder in einem Aufstellungsraum innerhalb des Wohngebäudes installiert werden oder wie es oft bei Luft/Wasser Wärmepumpen der Fall ist werden diese Anlagen außerhalb

⁵⁰ „Wärmepumpe in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“, zugegriffen 6. Juni 2017, <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermepumpe>.

⁵¹ „2014-PV-Marktstatistik_2013.pdf“, 15.

⁵² „2014-PV-Marktstatistik_2013.pdf“.

des Wohngebäudes aufgestellt. Split-Anlagen stellen eine Sonderform der Luft/Wasser Wärmepumpe dar, da sich ein Teil der Wärmepumpe im Außenbereich befindet und meist nur der Verflüssiger im Innenbereich installiert wird.

Wärmepumpen für Heizzwecke werden ab 4-5 kW Heizleistung angeboten⁵³.

Für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe ist es zu empfehlen mit niedrigen Heizungsvorlauftemperaturen (max. 40° C) das Wärmeabgabesystem zu dimensionieren und zu betreiben. Abhängig davon wie das Heizsystem betrieben wird und mit welchen Wassermengen zu rechnen ist, ist es sinnvoll mittels Lastausgleichsspeicher die Taktzeiten der Wärmepumpe zu reduzieren.

3.2.2 Wärmeerzeugung aus fossilen Energiequellen

Bei den Wärmeerzeugern durch fossile Energie werden in dieser Arbeit, wie schon zuvor bei den erneuerbaren Energiequellen, jene Systeme näher betrachtet die ohne zusätzliche Energiequelle in der Lage sind den Heizwärmebedarf über die gesamte Heizperiode abzudecken. Bei Heizgeräten, die Erdöl oder Erdgas als Energieträger nutzen, ist die Brennwerttechnik Stand der Technik.

Die Brennwerttechnik nutzt die Energie in Form von latenter Wärme des im Abgas befindlichen Wasserdampfes, indem die Abgastemperatur im Kessel bis auf 40° C reduziert wird. Dabei wird die Wärme an das Heizungssystem abgeführt, vorausgesetzt die Rücklauftemperatur lässt dies zu. Dabei entstehendes Kondensat und die Kondensationswärme wird dadurch nutzbar. Der Gesamtwirkungsgrad ergibt sich dann aus Heizwert plus Kondensationsenergie und kann oberhalb von 100%, bezogen auf den Heizwert, liegen. Das Kondensat wird über das Abflusssystem abgeführt. Alle Bauteile des Heizkessels inklusive der Abgasleitung müssen eine Beständigkeit gegen das häufig saure und relativ korrosive Kondensat aufweisen⁵⁴.

3.2.2.1 Gas Brennwertkessel

Erdgas besteht hauptsächlich aus Methan, ein brennbares und ungiftiges Gas. Im Ursprung ist es farb- und geruchlos und wird mit Duftstoff versehen um austretendes Gas besser wahrnehmen zu können. Erdgas ist leichter als Luft und man benötigt zur Verbrennung von 1m³ Gas ca. 10 m³ Luft. Die Zündtemperatur liegt bei 600° C.

⁵³ „Sole/Wasser-Wärmepumpe flexoCOMPACT exclusive | Vaillant“, zugegriffen 6. Juni 2017, <http://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/flexocompact-exclusive-26816.html>.

⁵⁴ „RP-Energie-Lexikon - Brennwertkessel, Kondensationskessel, Brennwerttherme, Kondensationswärme, Voll-Brennwerttechnik, LAS-Rohr, außenluftunabhängiger Betrieb“, zugegriffen 6. Juni 2017, <https://www.energie-lexikon.info/brennwertkessel.html>.

Die Versorgung von Erdgas erfolgt über ein Leitungssystem, damit ist keine Speicherung des Brennstoffes in unmittelbarer Nähe der Feuerungsstätte nötig. Die Speicherung kann zwecks Lastausgleich in natürlich vorkommenden Untergrundspeichern gelagert werden⁵⁵.

In Österreich fallen ca. 27,3% des gesamten Erdgas Verbrauches auf die privaten Haushalte.

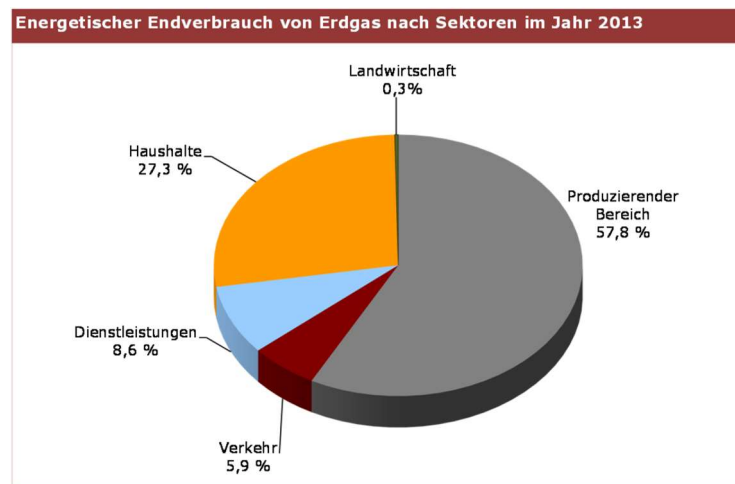


Bild 3.4 Erdgas verbrauch nach Sektoren 2013 Österreich⁵⁶

Erdgas-Wand-Brennwertgeräte sind so aufgebaut, dass sie alle für eine Heizzentrale notwendigen Bauteile in sich verbaut haben. Es sind neben der Brennkammer auch ein Ausdehnungsgefäß, eine Versorgungspumpe sowie Sicherheitseinrichtungen kompakt im Gerät verbaut. Ergänzend kann auch eine Warmwasserbereitung im Durchlaufprinzip oder im Wandhängespeicher realisiert werden. Gasthermen produzieren dank großer Modulationsbereiche nur so viel Wärme wie gerade benötigt wird.

Der Nennleistungsbereich wird daher zwischen 1,9 kW -15 kW angegeben.

Gas-Brennwertgeräte sind so konzipiert, dass sie direkt an das Verteilsystem angeschlossen werden, sie benötigen keine Ausgleichs- oder Pufferspeicher. Es ist nur zu gewährleisten, dass über den Wärmetauscher der Brennkammer ein ausreichender Volumenstrom des Heizungsmediums gegeben ist, damit es zu keiner Überhitzung am Wärmetauscher kommen kann. Mit Gas Brennwertgeräten können Niedertemperatur Heizsysteme

⁵⁵ „Erdgas“, zugegriffen 8. Juni 2017, <http://www.chemie.de/lexikon/Erdgas.html>.

⁵⁶ „Energienstatus Österreich 2015.pdf“.

mi 40° C VL-Temp. und 30° C RL-Temp. als auch Heizsysteme mit 60° C VL-Temp. und 40° C RL-Temp. betrieben werden⁵⁷.

3.2.2.2 **ÖL Brennwertkessel**

Erdöl wird in der chemischen Industrie und zur Erzeugung von Treibstoffen verwendet und ist derzeit der wichtigste Rohstoff unserer Industriegesellschaft. Hauptsächlich besteht Erdöl aus Kohlenwasserstoffen. Um Erdöl für den Verbrennungsprozess zur Beheizung von Einfamilienhäusern verwenden zu können, muss dieses in Raffinerien, entsprechend der geforderten Spezifikation ÖNORM C1109, aufbereitet werden⁵⁸.

Vom gesamt Erdölverbrauch in Österreich aus dem Jahr 2013, fallen 6,5% auf private Haushalte.

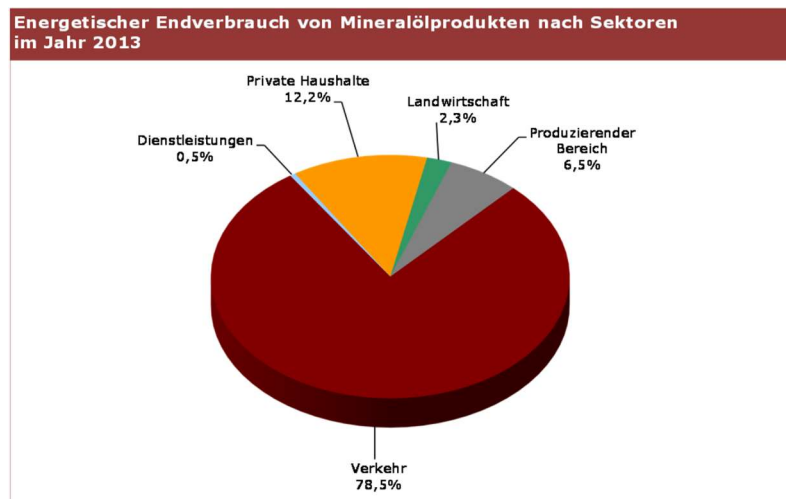


Bild 3.5 Erdölverbrauch nach Sektoren Österreich 2013⁵⁹

Der ÖL-Kessel ist das am weitesten entwickelte Wärmeerzeugungssystem für Heizungsanlagen im privaten Haushalt. Die immer strenger werdenden Vorgaben bezüglich Emissionsausstoß haben die Entwicklung vorangetrieben. Auch in Hinsicht Betriebssicherheit und Wartungsfreundlichkeit ist der ÖL-Kessel von einem anderen Heizsystem kaum zu überbieten. Dennoch ist es in Hinblick der Endlichkeit dieser Ressource Erdöl erstrebenswert, für die Beheizung von Wohnräumen andere Systeme zu bevorzugen.

Auch bei der ÖL-Brennwerttechnik werden Wandgeräte, ähnlich der Gastherme, angeboten, die einer Heizzentrale in kompakter Bauform entsprechen. In der Brennwerttechnik ist

⁵⁷ „Wandheizgerät ecoTEC exclusive VC“, zugegriffen 8. Juni 2017, <http://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/ecotec-exclusive-vc-28288.html>.

⁵⁸ „Infoblatt_Fluessige_Brennstoffe_OK.pdf“, zugegriffen 8. Juni 2017, http://www.iwo-austria.at/fileadmin/user_upload/pdf_2012-1.HJ/pdf-2012-2._HJ/Infoblatt_Fluessige_Brennstoffe_OK.pdf.

⁵⁹ „Energienstatus Österreich 2015.pdf“.

durch modulierende Brennertechnik eine bedarfsgerechte Wärmeerzeugung möglich. Öl-Brennwertgeräte sind ab einer Nennwärmeleistung von ca. 10 kW erhältlich und erreichen bezogen auf den Heizwert einen Gesamtwirkungsgrad von bis zu 104%. Mit der Öl-Brennwerttechnik können Flächenheizsysteme als auch Heizkörper-Heizsysteme betrieben werden. Die Leistungen dieser Geräte sind auch ausreichend, um damit die Warmwasserbereitung durchführen zu können. Anlagen mit Öl-Brennwerttechnik benötigen keine Lastausgleichs- bzw. Pufferspeicher. Ein Lagerraum für den Brennstoff muss jedoch vorhanden sein⁶⁰.

3.3 Wärmeverteilung

Um die in der Wärmeerzeugung entstehende Energie zu den Verbrauchern zu transportieren, sind aus der Historie verschiedene Systeme entstanden.

- Die Schwerkraftheizung die ohne Umwälzpumpe auskommt und mit Hilfe physikalischer Grundprinzipien funktioniert.
- Die Einrohrheizung, bei der die Verbraucher wie an einer Perlenkette nacheinander angeordnet sind.
- Die Pumpenheizung bei der die Rohrreibungswiderstände durch eine Umwälzpumpe ausgeglichen werden
- Die 2-Rohrheizung bei der jeder Verbraucher eine eigene Vor- und Rücklaufleitung besitzt.

Erst durch den Einsatz von Umwälzpumpen wurde es möglich die Anbinde-Leitungen zu den Verbrauchern in den Fußbodenaufbau bzw. Unterputz zu verlegen. Auch die Flächenheizung ist nur durch den Einsatz von Pumpen im Verteilsystem möglich. Durch den Einzug der Kunststofftechnik und neuen einfacheren Verbindungstechniken bei den Rohrsystemen, werden Heizungsinstallationen hauptsächlich im Zweirohrsystem mit einer Umwälzpumpe ausgeführt. Bei der Stockwerksverteilung werden vorwiegend 2 Methoden verwendet.

- Die Verteilung über ein Sticleitungssystem mit Abzweigungen im Fußbodenaufbau zu den einzelnen Verbrauchern. Anwendung bei Heizkörpern als Wärmeabgabe System.
- Die Verteilung von einem zentralen Verteilerpunkt zu den einzelnen Verbrauchern bzw. Wärmeabgabe System. Anwendung bei Fußbodenheizung aber auch bei Heizkörpern.

⁶⁰ „Öl-Brennwert-Wandgerät Vitoladens 300-W“, zugegriffen 10. Juni 2017, <https://www.viessmann.at/de/wohngebaeude/oel-heizkessel/oel-brennwertkessel/vitoladens-300-w.html>.

Bei der Auswahl und der Planung bzw. Ausführung des Verteilsystems ist darauf zu achten, dass dieses in der Lage ist, jedem Verbraucher mit der für ihn nötige Energiemenge zu versorgen, und dabei den Energieaufwand und Verluste so gering wie möglich zu halten⁶¹.

Das Kernstück der Verteilung bildet die Heizungs-Umwälzpumpe. In Heizungsanlagen für Einfamilienhäuser werden hauptsächlich Nassläuferpumpen verwendet, deren Aufgabe es ist, die Rohrreibungswiderstände bzw. Reibungswiderstände der Einbauteile zu überwinden (Förderhöhe) und die von den Verbrauchern benötigte gesamt Wassermenge bereit zu stellen (Fördermenge). Die Dimensionierung und Auswahl der Pumpe erfolgt bei Voll-Last der Anlage. Der Einsatz von Regeleinrichtungen an den Verbrauchern stellt noch eine weitere Anforderung an die Umwälzpumpe, denn durch die Reduktion der Wassermenge am Verbraucher. Durch das Regelventil reduziert sich auch die benötigte Gesamtwassermenge im System. Wird ein bestehendes Heizungssystem mit weniger Wassermenge betrieben, reduziert sich der Widerstand quadratisch zur Menge im System. Da aber bei Heizungspumpen dieser direkte Zusammenhang zwischen Fördermenge und Förderhöhe umgekehrt als im Heizungssystem besteht und bei Reduktion der Fördermenge die Förderhöhe steigt, ist der Einsatz selbst regulierender Pumpen notwendig. Diese so genannten elektronischen Pumpen sind in der Lage, die Förderhöhe zumindest konstant zu halten bzw. linear zur Förderhöhe reduzieren. Diese elektronischen Pumpen bieten noch den Vorteil, dass sich der Strombedarf auf ein Zehntel gegenüber älteren Pumpenbaureihen reduziert hat und je nach Pumpengröße bei 4 W-15 W liegt⁶².

An die Verteilleitungen, inklusive der Einbauteile, wie Regelventile und Ventile für den hydraulischen Abgleich, liegt die Anforderung bei der Planung und Verlegung darin, dass diese so wenig Widerstand als möglich verursachen und die Regeleinrichtungen, Heizkörperventile und Regulierventile so viel Druckverlust als nötig verursachen, um ihre Aufgabe erfüllen zu können. Neben der Auswahl des Rohrquerschnittes und Rohrwerkstoffes haben auch die Rohrführung und das Anbinde-System (verlegte Rohrlängen) Einfluss auf den Druckverlust. Bei der Positionierung und Wahl der Regeleinrichtungen für den hydraulischen Abgleich gilt es zu berücksichtigen, dass Systeme mit variablen Volumenströmen auch mit dynamisch abgeglichen werden, damit bei jedem Betriebspunkt die optimalen Bedingungen für das Regelventil am Verbraucher vorherrschen und eine bedarfsgerechte Verteilung des Heizungsmediums bzw. der darin enthaltenen Energie gegeben ist.

⁶¹ Wolfgang Burkhardt und Roland Kraus, *Projektierung von Warmwasserheizungen* (Oldenbourg Industrieverlag, 2006), 17.

⁶² „Effiziente_Heizungspumpen_fin-13.10.08.pdf“, zugegriffen 10. Juni 2017, http://www.energiesparverband.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Effiziente_Heizungspumpen_fin-13.10.08.pdf.

Die Verteilung verursacht auch Verteilungsverluste, diese resultieren daraus, dass der in den Rohrleitungen geführte Wärmeträger, Wärme in Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials, der Ausführung der Rohrisolierung, der Temperatur des Mediums und der Umgebung, durch Wärmeübergang abgibt. Auch die Einbausituation, ob frei verlegt oder im Fußbodenaufbau, hat Einfluss auf die Berechnung der Verluste. Um diese Verluste so gering wie möglich zu halten, ist es unumgänglich die Anbinde Leitungen fachgerecht und ausreichend zu isolieren. Richtwerte können hierzu aus der EnEV entnommen werden.

Polyethylen-Rohrdämmung δ_D in mm;	Ausgleichsschicht λ_A in W/(m K)	\dot{Q} in W/m
0	0,04	12
26	0,04	5
0	0,70	42
26	0,70	6

Tab 3.1 Verlustwärmeströme gedämmter und ungedämmter Rohrleitungen im Fußboden⁶³

Oben dargestellte Tabelle zeigt den Wärmeverlust eines gedämmten und ungedämmten im Fußbodenaufbau verlegten Rohres. Bild 3.6 zeigt die Ausgangsdaten die der Berechnung der Tabellenwerte zugrunde liegen.

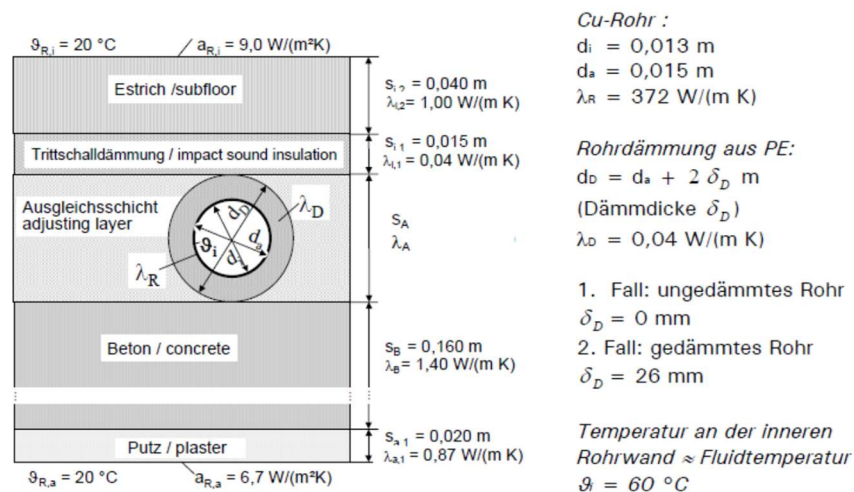


Bild 3.6 Schichtdicken und Stoffwerte⁶⁴

⁶³ „Fachbericht Berechnung Wärmeabgabe Rohrleitungen..pdf“, o. J.

⁶⁴ Ebd.

Die Tabelle 3.2 ist eine Zusammenstellung von Wärmeverlustfaktoren eines Kupfer Heizungsrohres, in der Anlehnung an die in der EnEV 2014 vorgegebenen Dämmwerten. Mit Hilfe des Wärmeverlustfaktors lässt sich durch Multiplikation mit der Rohrlänge und Multi-

Nennweite	Ψ [W/mK]			
	ohne Dämmung	1/2 EnEV	EnEV	2 EnEV
DN 10	0,350	0,220	0,173	0,133
DN 15	0,493	0,240	0,180	0,134
DN 20	0,637	0,253	0,184	0,134
DN 25	0,780	0,262	0,186	0,135
DN 32	0,980	0,271	0,189	0,135
DN 40	1,209	0,278	0,191	0,135

Tab 3.2 Längenbezogener Wärmeverlustfaktor von Heizungsrohren aus Kupfer⁶⁵

plikation der Temperaturdifferenz der Mediums- zur Umgebungstemperatur, der Wärmeverlust einer frei verlegten Leitung näherungsweise berechnen⁶⁶.

3.4 Wärmeabgabe

Im Einfamilienhaus werden hauptsächlich Heizkörper oder Fußbodenheizungssysteme verbaut. In Einzelfällen kommen noch Leistenheizungen und Wandheizungen zum Einsatz, die durch Ihre Funktionsweise entweder einer Heizkörperheizung oder einer Fußbodenheizung ähneln. Für die im Anschluss nähere Betrachtung werden die Überbegriffe Konvektionsheizung und Flächenheizung verwendet, obwohl jedes System Wärme in Strahlungs- und Konvektionsanteilen, aber auch durch Wärmeleitung abgibt. Ausschlaggebend ist das Mischverhältnis der Anteile für die Unterteilung.

Bei der Entscheidung welches System zur Ausführung kommt, sind mehrere Faktoren ausschlaggebend. Zum Ersten wird durch das Prinzip der Wärmeerzeugung die Auswahl eingeschränkt, erfolgt die Wärmeerzeugung im Niedertemperaturbereich werden auch

⁶⁵ „Ingenieurbüro Matthaei » Blog Archi Dämmung von Heizungsrohren - Ingenieurbüro Matthaei“, zugegriffen 10. Juni 2017, <http://www.energie-effizient-sparen.de/fachbeitraege/daemmung-von-heizungsrohren/>.

⁶⁶ Ebd.

Wärmeabgabesysteme benötigt, die mit diesen Niedrigtemperaturen funktionieren z.B.: Flächenheizungen. Aus technischer Sicht ist die Nutzung des Raumes für die Entscheidung ausschlaggebend, da eine Schnellaufheizung mit Konvektionsheizungen leichter möglich ist und Flächenheizungen träger und damit langsamer reagieren. Aus der Sicht des Anlagenerrichters stehen finanzielle und optische Aspekte im Vordergrund⁶⁷.

3.4.1 Konvektionsheizung

Der Heizkörper bzw. Radiator wie er auch oft genannt wird und die Leistenheizung sind aufgrund Ihrer Funktionsweise der Konvektionsheizung zuzuordnen.

Radiatoren werden in unterschiedlichsten Bauformen und Größen angeboten. Das Grundfunktionsprinzip ist dabei immer dasselbe, der Heizkörper wird vom Heizungsvorlauf mit Energie in Form von warmem Heizungswasser versorgt. Die stark vergrößerte Oberfläche des Heizkörpers ermöglicht eine verstärkte Wärmeabgabe an die Raumluft.

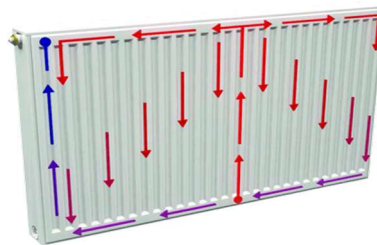


Bild 3.7 Heizungswasserlauf in einem Plattenheizkörper⁶⁸

Die Luft erwärmt sich an der Oberfläche und steigt nach oben, dadurch kann kältere Luft aus dem Bodenbereich nachströmen, die sich wiederum am Heizkörper erwärmt und hochsteigt. Damit diese Wärmeabgabe durch Konvektion erfolgen kann, ist es auch wichtig, dass die erwärmte Luft ungehindert abströmen und kalte Luft ungehindert zuströmen kann.

Neben der Wärmeabgabe durch Konvektion wird die Energie auch durch Strahlung an die Umgebung abgegeben. Die Verteilung des Konvektions- und Strahlungsanteiles ist von folgenden Faktoren abhängig.

- Oberflächentemperatur
- Oberflächenbeschaffenheit
- Bauform des Heizkörpers

⁶⁷ „ForschungsberichtIR.pdf“.

⁶⁸ Alfons Oebbeke, „Niedertemperatur-Heizkörper von Stelrad mit serieller Durchströmung“, zugegriffen 11. Juni 2017, <http://www.baulinks.de/webplugin/2011/0619.php4>.

Ausgehend von einer durchschnittlichen üblichen Heizkörpergröße, mit einer Fläche von einem halben bis einem Quadratmeter und einer Oberflächentemperatur von 60°C - 70°C , kann man bei einem freistehenden Plattenheizkörper von einer Aufteilung 50% Strahlung und 50% Konvektion ausgehen. Wird die Oberflächentemperatur verringert, verschiebt sich die Verteilung zu Gunsten der Konvektion, umgekehrt erfolgt die Verschiebung in Richtung Strahlung.

In der Praxis werden Heizkörper auch in Form von Gliederheizkörper oder Plattenheizkörper aus mehreren Platten mit Konvektionsblechen gebaut. Diese Bauformen erhöhen den Konvektionsanteil durch den entstehenden Kamineffekt, abhängig von der Oberflächentemperatur kann dann der Konvektionsanteil bis zu 90% betragen. Hingegen erhöht man die Oberfläche bei einfachen Heizflächen, z.B.: auf 10m^2 stellt sich das Gleichgewicht zwischen Konvektion und Strahlung schon bei 45°C - 50°C ein.

Die Leistenheizung oder Fußleistenheizung ist eine besondere Bauform eines Konvektionsheizkörpers. Bei der Heizleiste werden auf einem Rohr aus Kupfer durch das Anbringen von Lammellenblechen eine große Tauscherfläche erzeugt. Durch die Lammellenbleche entsteht ein Kamineffekt, welcher wiederum die Konvektion erzeugt. Durch die Montage dieser Heizleiste auf der Innenseite, knapp über dem Fußboden, baut das System einen Warmluftschleier entlang von Glasflächen oder Wänden auf. Dieser erwärmt diese Oberflächen und die entstehende Strahlung dieser Oberflächen stellt die gewünschte Behaglichkeit ein. Die Raumlufttemperatur hingegen bleibt aufgrund des dünnen Warmluftschleiers und der geringen Oberflächentemperatur unter der Temperatur des Warmluftschleiers⁶⁹.

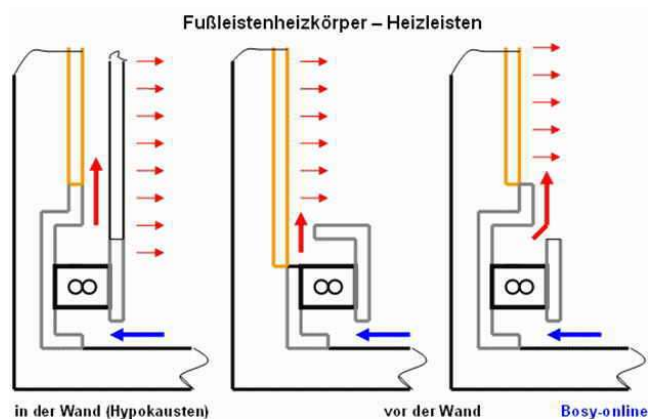


Bild 3.8 Bauformen und Wirkungsweise von Fußleistenheizungen⁷⁰

⁶⁹ „ForschungsberichtIR.pdf“.

⁷⁰ „Elektroheizungen in passenden Bauformen für jeden Raum - fussleistenheizung“, zugegriffen 11. Juni 2017, <http://hansgr.890m.com/?page=8269>.

3.4.2 Flächenheizung

Bei Flächenheizungen wird in der Praxis das wasserführende System bei Fußbodenheizungen im Estrich oder bei Wandheizungen unter Putz installiert. Die am Markt angebotenen Systeme unterscheiden sich nur durch Rohrmaterial, Rohrquerschnitte und Befestigungsmethode. Die Wirkweise hängt weitgehend nur von der Auslegung und Verarbeitung des Systems ab. Die Betonkernaktivierung ist zwar ähnlich der Fußboden- bzw. auch Wandheizung, kommt jedoch im Einfamilienhaus derzeit kaum zur Anwendung.

Eine grundlegende Einteilung ist über die Art der Verlegung des Wärmeabgabesystems möglich.

- Nassverlege Systeme
- Trockenverlege Systeme

Beide Verlegearten sind bei Fußboden- und Wandheizung möglich. In der Praxis überwiegt bei der Fußbodenheizung die Nassverlegung und bei der Wandheizung die Trockenverlegung.

Bei der Nassverlegung ist das Heizungsrohr im Estrich oder Verputz eingebettet. Bei beiden Varianten sind, unabhängig vom Hersteller, grundlegende Verlegerichtlinien einzuhalten. Neben den Schallschutztechnischen Richtlinien, speziell bei Fußbodenheizungen, ist durch ausreichende und richtig positionierte Isolierung dafür zu sorgen, dass die Wärmeabgabe fast ausschließlich an der gewünschten Oberfläche wirken kann⁷¹.

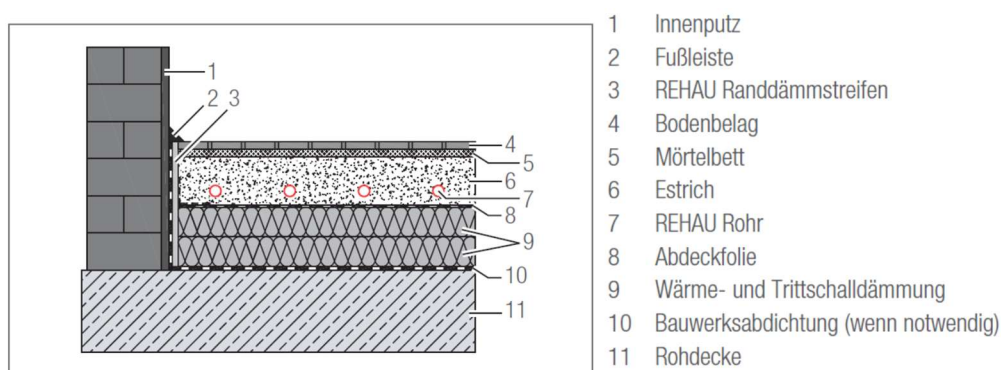


Bild 3.9 Aufbau einer Rohfußbodenheizung in Nassverlegung⁷²

Bei der Trockenverlegung wird das Heizungsrohr in vorgefräste Trägerplatten eingelegt und entweder an die Wand montiert, sodass eine zu verspachtelnde glatte Oberfläche entsteht (Trockenbau) oder im Fußboden als Heizelement welches anschließend, um eine

⁷¹ Schlagnitweit und Wagner, *Heizungs- und Lüftungstechnik*.

⁷² „technische-information-flaechenheizung--kuehlung.pdf“, zugegriffen 13. Juni 2017, <https://www.rehau.com/download/1187506/technische-information-flaechenheizung--kuehlung.pdf>.

tragfähige Oberfläche zu erhalten, mit Trockenestrich Elementen überdeckt wird. Auch bei diesem System ist auf Schallschutz und richtige Dämmung zu achten.

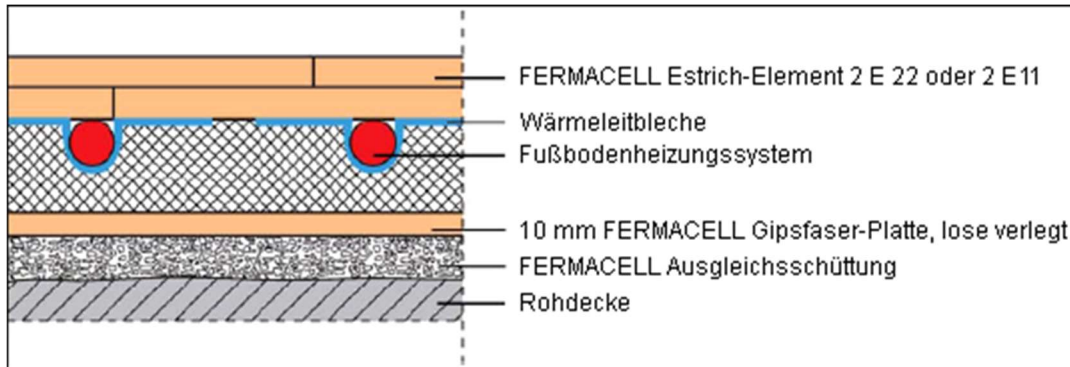


Bild 3.10 Aufbau einer Rohfußbodenheizung in Trockenverlegung⁷³

Stärke, Speichermasse und Wärmeleitfähigkeit des überdeckenden Materials beeinflussen die Speichermasse und damit die Trägheit des Systems. Fußbodenheizungen verhalten sich daher in der Regel träger als Wandheizungen. Bei Wandheizungen wird durch thermische Entkoppelung, eine zusätzliche Anbringung einer Isolierung zwischen Heizelement und tragendem Mauerwerk, die Speichermasse auf die der Trägerplatte reduziert und damit kann das System schneller auf Veränderungen reagieren⁷⁴.

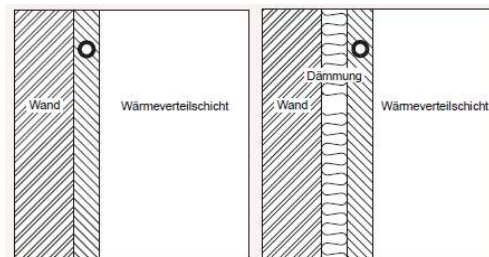


Bild 3.11 Wandheizung im Trockenbau⁷⁵

Bei den Flächenheizungssystemen erfolgt die Wärmeabgabe über Wärmeleitung des Heizungswassers über das Systemrohr und des umschließenden Materials, an die Fußboden- bzw. Wandoberfläche. Die erwärmten Oberflächen sorgen für eine angenehme mittlere Strahlungstemperatur. Die Raumluft wird hingegen langsam durch Konvektion erwärmt. Obwohl bei der Flächenheizung meist weniger als 50% der zugeführten Wärmeenergie in Form von Strahlung abgegeben wird, wird diese irrtümlich als Strahlungsheizung bezeichnet. Die Begründung liegt darin, dass sie durch die erwärmten Raumbooberflächen

⁷³ „Trockenestrichelemente von Fermacell – baudochselbst.de“, zugegriffen 13. Juni 2017, <http://www.baudochselbst.de/fussbodenheizung/fbh-zubehor/trockenestrichelemente-von-fermacell/>.

⁷⁴ Schlagnitweit und Wagner, *Heizungs-und Lüftungstechnik*.

⁷⁵ „Planung Wandheizung – baudochselbst.de“, zugegriffen 13. Juni 2017, <http://www.baudochselbst.de/fussbodenheizung/fussbodenheizung-planung/planung-wandheizung/>.

für eine hohe Strahlungstemperatur der Umgebung sorgen. Der Idealzustand würde sich dadurch einstellen, wenn alle Raumbegrenzungsflächen auf einem niedrigen Temperaturniveau von 20° C-25° C gehalten werden (siehe Hierzu auch Kapitel 2.7)⁷⁶

3.5 Regelungstechnik

Der Wärmebedarf von einem Gebäude und dessen einzelner Räume ist hauptsächlich von folgenden Faktoren abhängig:

- Außentemperatur
- Innere Wärmequellen
- Nutzung
- Sonneneinstrahlung
- Windverhältnissen

Um den variierenden Bedarf laufend anzupassen, ist es Stand der Technik, selbstständige Heizungsregelungen einzusetzen. Dabei kommen witterungs-, raumgeführte Regelungen bzw. eine Kombination aus beidem zur Anwendung. Ziel ist es, dem Heizsystem entsprechend nur so viel Energie in Form von Wärme zur Verfügung zu stellen, bis die gewünschte thermische Behaglichkeit in den beheizten Räumlichkeiten erreicht ist. Die Balance zwischen Komfortbedürfnis und Heizkosten ist bei der Wahl des Raumtemperatursollwertes zu finden⁷⁷. Bei der rein witterungsgeführten Regelung ist die Außentemperatur die Führungsgröße. Dem Regelgerät wird mit der Steigung der Heizkurve die Vorlaufemperaturveränderung zur Außentemperaturveränderung vorgegeben. Wärmeeintrag von außen (Sonneneinstrahlung) bzw. Wärmeeintrag von innen (Menschen, Geräte) werden aus der Sicht des Raumes nicht berücksichtigt und es kann zu einem Überwärmen des Raumes kommen. Um dies zu vermeiden werden von der Hauptregelung unabhängige Einzelraumregelungssysteme (Thermostatkopf, Raumthermostat), die zumindest eine Maximaltemperaturbegrenzung durchführen, verwendet. Bei der rein raumgeführten Regelung ist die Führungsgröße die Raumtemperatur eines Referenzraumes. Der Vorteil bei dieser Art der Regelung liegt darin, dass alle Fremdeinflüsse erfasst werden und der Raum exakt nach den vorgegebenen Temperaturen ausregeln kann. Dies gilt jedoch nur für den Referenzraum, andere Räume werden diesem untergeordnet.

⁷⁶ „ForschungsberichtIR.pdf“.

⁷⁷ Ernst-Rudolf Schramek und Hermann Recknagel, *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 07/08* (Oldenbourg Industrieverlag, 2007).

In der Praxis werden witterungsgeführte Regelungen in Kombination mit einem Raumgerät verbaut, wobei in vielen Fällen der Raumeinfluss sehr gering gewählt wird. Das Raumgerät wird dann nur noch als Fernbedienung verwendet, um vom Wohnbereich aus, auf die Betriebsart und Raumsolltemperatur Einfluss nehmen zu können. Mit der Verbreitung des Smartphones liegt bei der Regelungsentwicklung der Fokus auf die Möglichkeit der App-Bedienung, ohne dabei die Regelqualität zu verbessern.

Vereinzelt wird zur witterungsgeführten Regelung, speziell für Flächenheizung, ein Einzelraumregelungssystem eingebaut, das zumindest über einen Schaltkontakt, der als Anforderung an die Vorregelung verwendet werden kann, mit dieser kommunizieren kann⁷⁸.

⁷⁸ Dipl.-Ing. Reinhold, *Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik*, 3. Aufl. (vogel, 2012).

4 Das moderne Einfamilienhaus

In den hochentwickelten Industrieländern leben mehr als die Hälfte der Bevölkerung in Einfamilienhäusern. Es gibt zwar in einzelnen Regionen Europas Initiativen diese Form der Zersiedelung einzudämmen, diese sind derzeit jedoch noch nicht über den Studienstatus hinausgekommen. Bei der Planung von Einfamilienhäusern stehen Architekten vor neuen Herausforderungen. Gebäude sollen ressourcenschonend, den wachsenden Ansprüchen an die Energieeffizienz und der Bevölkerungsentwicklung gerecht werden. Ökologische Baustoffe, nachhaltige Energieversorgung, unter Nutzung naturgebotener Ressourcen, sind die Vorgaben für die Entwicklung eines modernen Einfamilienhauses. Von der Pflege, über die Veränderbarkeit bis hin zur Wiederverwertbarkeit nach Beendigung des Lebenszyklus, sollte alles bedacht und in der Planung integriert sein⁷⁹.

In diesem Kapitel werden die für den Heizwärmedarf relevanten Komponenten in Hinsicht auf Heizlast, Einfluss von Transportverlusten und innere Wärmegewinnung behandelt. Die benötigte Energie für die Beheizung eines Gebäudes wird im Wesentlichen von der Energieabgabe des Selbigen an die Außenluft bestimmt. Um die Einsparungsvorgaben zu erreichen stellen sich immer höhere Anforderungen an die verwendeten Baustoffe. Die Mindestanforderungen werden in Österreich durch die OIB-Richtlinie 6 vom März 2015 geregelt. Darüber hinaus ist es durchaus zielführend, durch die Wahl der Baustoffe der architektonischen Gestaltung des Wohnhauses, einen höheren Wärmeschutz zu erreichen

4.1 Wärmeschutz

Wärmeverluste und Wärmegewinne sind für die Energiebilanz eines Gebäudes maßgeblich. Die Reduktion der Transmissionswärmeverluste mittels sehr guter Dämmung und nach Süden ausgerichteten Fenstern in Kombination mit Speichermassen, sind die Voraussetzung für optimale Nutzung der Sonnenenergie in der Heizperiode. Neben der Wärmedämmung haben Gebäudevolumen, die Lage des Gebäudes und Raumausrichtung im Gebäude, Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf. Damit der verwendete Dämmstoff die errechnete Dämmwirkung auch in der Praxis aufweist, ist darauf zu achten, dass das Dämmmaterial fugenlos eingebaut wird. Fugen und Spalten lassen Luftzirkulation zu, welche zu einem Auskühlen des Gebäudes führen können.

⁷⁹ „Eigenheim: So stellen sich Architekten das Haus der Zukunft vor - WELT“, *DIE WELT*, zugegriffen 13. Juni 2017, <https://www.welt.de/finanzen/immobilien/article144391638/Das-Haus-der-Zukunft-recycelt-sich-selbst.html>.

4.2 Luftdichte Bauweise

Die Luftdichtheit ist neben der Dämmung ein weiterer Faktor für den Wärmebedarf eines Gebäudes. Durch eine nicht luftdichte Gebäudehülle entsteht neben dem erhöhten Energiebedarf auch die Gefahr von Bauschäden durch Kondensatbildung. Wenn durch schlecht ausgeführte Stoßfugen bei der Dampfbremse, Raumluft in das Dämmmaterial eindringen kann und abkühlt, kommt es bei einer Taupunktunterschreitung zur Kondensatbildung. Wasser vermindert die Dämmfähigkeit und es geht zusätzlich Wärme verloren. Dieser Mangel ist aufgrund der Raumverkleidung nicht unmittelbar sichtbar. Kommt es zur Feuchtigkeitskonzentration in den Bauteilen kann dies zur Korrosion, Verrottung und Schimmelbildung führen.

Um die Dichtheit des Gebäudes zu testen wird beim sogenannten Blower-Door-Test über einem an einer Tür oder Fenster angebrachten Ventilator im Gebäude ein Unterdruck von 50 Pascal erzeugt. Über die vom Ventilator abgeführte Luftmenge lässt sich der Dichtheitswert des Hauses ermitteln. Folgende Grenzwerte sollten nicht überschritten werden.

	<i>Grenzwerte max.</i>
<i>Gebäude nach OIB-330.6.009/15 ohne Lüftungsanlage⁸⁰</i>	3 /Stunde
<i>Gebäude nach OIB-330.6.009/15 mit Lüftungsanlage⁸¹</i>	1,5 /Stunde
<i>Niedrigenergiehaus⁸²</i>	1/ Stunde
<i>Passivhaus⁸³</i>	0,6/ Stunde

Tab 4.1 Luftwechselrate bei 50 Pascal Druckdifferenz

Ab einer Luftwechselzahl von 1,5 sind Wohngebäude mit einer Kontrollierten Lüftungsanlage auszustatten. In einem 3-4 Personenhaushalt wird die Raumluft mit ca. 6-14 Liter Wasser pro Tag angereichert, zusätzlich gibt der Mensch bis zu 1,5 Liter Wasserdampf über die Atemluft ab. Neben der Erfüllung der lufttechnischen Behaglichkeitskriterien ist es auch Aufgabe der Lüftungsanlage durch die Bewohnung des Wohngebäudes entstehenden Wasserdampf abzuführen⁸⁴.

⁸⁰ „richtlinie_6_26.03.15.pdf“, 7, zugegriffen 13. Juni 2017, https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf.

⁸¹ Ebd.

⁸² „Daemmstoffbroschuere.pdf“, 15, zugegriffen 13. Juni 2017, <https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/publikationen/berichteBroschueren/Daemmstoffbroschuere.pdf>.

⁸³ Ebd.

⁸⁴ „Daemmstoffbroschuere.pdf“.

4.3 Speichermassen und deren Verhalten

In Heizanlagen wird die Wärmeenergie vor Weitergabe an den zu beheizenden Raum im Heizsystem gespeichert. Die Größe des Wärmespeichers ist direkt abhängig von der Größe der Masse. Die Wärmeenergie wird bei der Warmwasserheizung im Heizungswasser, im Heizkörper und bei der Fußbodenheizung im Estrich gespeichert.

Bei Heizsystemen mit festen Brennstoffen ist eine hohe Speichermasse durchaus erwünscht da man diese dadurch nicht ständig befeuern muss und der Speicher (z.B.: Schamott eines Kachelofens) die Wärmeenergie verzögert und verlangsamt an den Raum abgibt.

Bei modernen Heizsystemen, die mit einer Heizungsregelung ausgestattet sind, haben jedoch große Speichermassen eine negative Auswirkung auf das Regelverhalten. Bei Fußbodenheizungen, die den gesamten Estrich aufheizen müssen, kann die Wärmeenergie nur verzögert an den Raum abgegeben werden. Zuvor wird die Wärmeenergie im Estrich gespeichert. Wirken jedoch in den Raum Fremdenergien wie Sonneneinstrahlung oder die Wärme von Haushaltsgeräten, kann die Regelung zwar bei Überschreitung der Raumtemperatur darauf reagieren und die Energieversorgung zur Fußbodenheizung reduzieren bzw. unterbrechen, die gespeicherte Energie im Estrich wird jedoch unkontrolliert weiter an den Raum abgegeben und es kommt zu einem s.g. Überschwingen (Überheizen).

In modernen Wohnhäusern mit geringem Heizenergiebedarf und einer Warmwasserheizung mit Heizungsregelung ist es daher nötig die Speichermassen im Heizsystem so gering wie möglich zu halten. Nicht davon betroffen sind Puffer bzw. Lastausgleichsspeicher, weil die Wärmeabgabe dieser Bauteile nicht im Wohnbereich erfolgt⁸⁵.

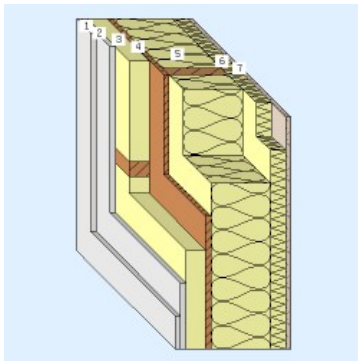
4.4 Ausführung der Bauteile

Zielsetzung ist es ein Wohngebäude mit niedrigen Heizkosten zu errichten. Dabei ist es notwendig die Bauteile so zu gestalten, dass bei maximalem Wohnkomfort das Gebäude wirtschaftlich errichtet werden kann und gleichzeitig die Energiekosten niedrig gehalten werden. Für den im Kapitel 5 zu berechnenden Wärmebedarf eines Musterhauses werden Bauteile mit geringem Wärmedurchgangskoeffizienten auf Passivhausstandard verwendet. In diesem Unterkapitel werden diese Bauteile definiert und die U-Werte in weiterer Folge in die Berechnung übernommen.

⁸⁵ „ForschungsberichtIR.pdf“, 20.

Holzständer-Außenwand, verputzt: U- Wert 0,111 W/m²K⁸⁶

Die Außenwände bestehen aus einer Holzkonstruktion die die statischen Aufgaben übernimmt. Holz weist sehr gute Dämmeigenschaften auf. Die Füllmaterialien weisen ebenso hohe Dämmwerte auf. Die Innenwandoberfläche wird durch 2-lagig verlegte Gipskartonplatten und die Außenseite mit Silikatputz auf Holzfaserplatten hergestellt.



A++	RL6
Masse	77,7 kg/m²
PENRT	662 MJ/m²
GWP100 Summe	-21,4 kg CO ₂ /m²
AP	0,181 kg SO ₂ /m²

Bild 4.1 Aufbau Außenwand⁸⁷

Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W
1		Gipskartonplatte (900 kg/m³)	1,50	0,250	0,06
2		Gipskartonplatte (900 kg/m³)	1,50	0,250	0,06
3		Mineralwolleplatten zw. KVH	8,00		
		56,3 cm (90%) Glaswolle MW(GW)-W (18 kg/m³)	8,00	0,038	2,11
		6,3 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	8,00	0,120	0,67
4		OSB-Platten (650 kg/m³)	1,80	0,130	0,14
5		Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene)	24,00		
		56,3 cm (90%) Glaswolle MW(GW)-W (18 kg/m³)	24,00	0,038	6,32
		6,3 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	24,00	0,120	2,00
6		Holzfaser WF-W (130 kg/m³)	6,00	0,046	1,30
7		Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	0,60	0,800	0,01
			$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,4%) =		9,285 / 8,667
Bauteil			43,400		8,976

Tab 4.2 Bauteile Außenwand⁸⁸

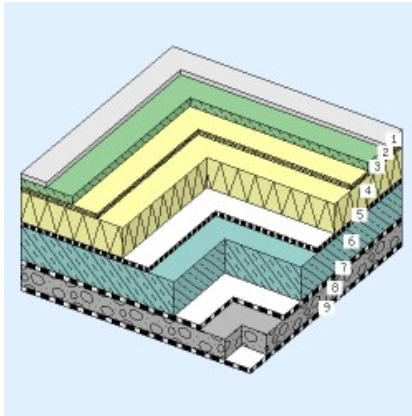
⁸⁶ „IBO Passivhaus Bauteilkatalog“, zugegriffen 14. Juni 2017, https://www.baubook.at/phbt/in-dex_BTR.php?SW=19.

⁸⁷ Ebd.

⁸⁸ Ebd.

Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich: U-Wert 0,146 W/m²K⁸⁹

Die Fundamentplatte wird oberseitig gedämmt und mit einem Nassestrich ausgeführt, als Fußbodenoberfläche mit Fliesen im Nassbereich, Küche und Vorraum ausgeführt.



A++	RI6
Masse	995,3 kg/m²
PENRT	1997 MJ/m ²
GWP100 Summe	141 kg CO ₂ /m ²
AP	0,418 kg SO ₂ /m ²

Bild 4.2 Aufbau Plattenfundament⁹⁰

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W
1		Keramikverkleidungen (2300 kg/m ³)	0,80	1,300	0,01
2		Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m ³)	6,00	1,330	0,05
3		Polyethylenschaum (70 kg/m ³)	1,00	0,050	0,20
4		EPS-P (30 kg/m ³)	22,00	0,035	6,29
5		Aluminium-Bitumendichtungsbahn	0,40	0,230	0,02
6		Normalbeton mit Bewehrung 1 % (2300 kg/m ³)	25,00	2,300	0,11
7		Baupapier	0,03	²	²
8		Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	15,00	²	²
9		Vlies PP	0,02	²	²
$R_{si} / R_{se} =$				0,170 / 0,000	
R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =				6,833 / 6,833	
Bauteil			70,250	6,833	

Tab 4.3 Bauteile Plattenfundament⁹¹

⁸⁹ Ebd.

⁹⁰ Ebd.

⁹¹ Ebd.

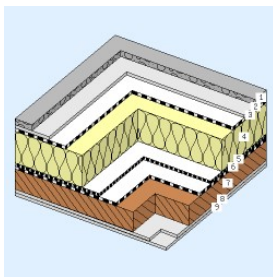
Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich: U-Wert 0,160 W/m²K⁹²

Im Wohnbereich und Schlafbereich werden die Böden mit Massivparkett und der Estrich mit 5 cm ausgeführt. Der Rest des Bodenaufbaues ist ähnlich dem der Fundamentplatte zuvor.

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W
1		Massivparkett	1,00	0,160	0,06
2		Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m ³)	5,00	1,330	0,04

Massivholz-Flachdach als Warmdach: U-Wert 0,103 W/m²K⁹³

Das Gebäude ist eingeschossig und wird mit einem Flachdach ausgestattet.



A++		RL6	
Masse		257,5 kg/m²	
PENRT		1459 MJ/m ²	
GWP100 Summe		-96,0 kg CO ₂ /m ²	
AP		0,361 kg SO ₂ /m ²	

Bild 4.3 Aufbau Flachdach⁹⁴

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W
1		Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	6,00	0,700	0,09
2		Gummigranulatmatte	1,00	0,170	0,06
3		Polymerbitumen-Dichtungsbahn	0,80	0,230	0,03
4		Steinwolle MW(SW)-W (30 kg/m ³)	32,00	0,042	7,62
5		Aluminium-Bitumendichtungsbahn	0,14	0,230	0,01
6		Dampfdruckausgleichsschicht	0,18	0,500	0,00
7		Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	20,00	0,120	1,67
8		Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	1,50	0,250	0,06
9		Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	1,50	0,250	0,06
				$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,040
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	9,735 / 9,735
Bauteil			63,120		9,735

Tab 4.4 Bauteile Flachdach⁹⁵

⁹² Ebd.

⁹³ Ebd.

⁹⁴ Ebd.

⁹⁵ Ebd.

Fenster Terrassen- und Hauseingangstüren

Bei Fenster, Terrassen- und Hauseingangstüren ergibt sich der Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Fensters aus den Werten der Verglasung, des Rahmens und der Verbindung Glas mit Fensterrahmen. Um auch Behaglichkeitskriterien zu erfüllen wird angestrebt, dass die Innenoberflächentemperatur des Fensterglases nicht mehr als 3° C unter der Raumtemperatur liegt, damit es zu keiner „kalten Strahlung“ kommen kann.

Für das Musterhaus wurden **Fenster, Terrassen- und Hauseingangstüre** mit 3-Fachverglasung und einem **U-Wert 0,67 W/m²K**⁹⁶ gewählt.

4.5 Interne Wärmelasten

Der Begriff interne Wärmelasten kommt ursprünglich aus dem Bereich der Kühllastberechnung. In der Regelungstechnik werden die inneren Lasten als Störgrößen bezeichnet. Bei der Projektierung und Planung von Passivhäusern wird von internen Wärmegevinne gesprochen. In der Heizlastberechnung haben die internen Wärmegevinne bis dato keine Rolle gespielt, weil man davon ausgeht, dass diese Energiegewinne dem Haus ohnedies zugutekommen. Bei durchschnittlich gedämmten Gebäuden ist der prozentuelle Anteil der damit gewonnenen Energie im Verhältnis zum Energiebedarf sehr gering.

Im Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) fließen diese Internen Wärmequellen, in Abhängigkeit von der Wohnfläche, für die Ermittlung der Kühl- bzw. Heizlast sowie bei Energiebilanzen in die Berechnung mit ein. Im ursprünglichen Standardwert wurden 2,1 W/m² als konstante innere Wärmeenergie angesetzt, dabei schenkte man der Personenbelegung, in Abhängigkeit von der Wohnfläche, wenig Beachtung. Eine Studie stellte fest, dass bei kleinen Wohneinheiten durchschnittlich eine höhere Belegungsdichte vorherrscht. Es besteht auch ein direkter Zusammenhang mit der Zunahme von Abwärme aus Stromanwendungen und der Personenzahl. Aus diesen Erkenntnissen ergibt sich ein geänderter Ansatz für die innere Wärmeenergie⁹⁷.

⁹⁶ „Platin Passiv - Holz/ Alu - Fenster - Josko“, zugegriffen 14. Juni 2017, <http://www.josko.at/de/produkte/fenster/platin-passiv-21/>.

⁹⁷ „Interne Wärmequellen in Abhängigkeit von der Wohnfläche []“, zugegriffen 10. August 2017, https://passipedia.de/planung/energieeffizienz_ist_berechenbar/energiebilanzen_mit_dem_phpp/interne_waermequellen_in_abhaengigkeit_von_der_wohnflaeche?do=.

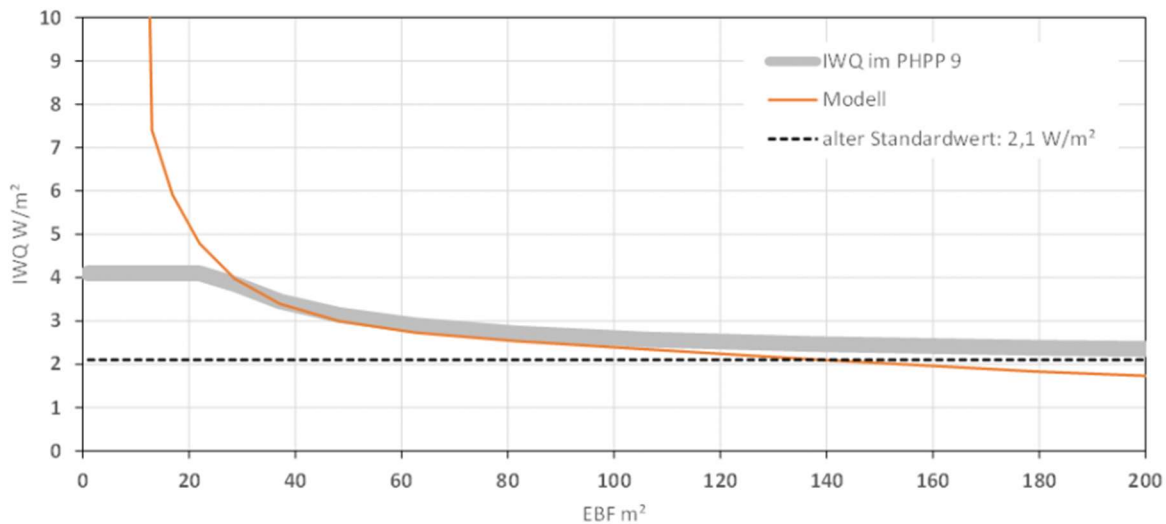


Bild 4.4 Wohnflächenabhängige innere Wärme Energie nach PHPP9⁹⁸

Im Bild 4.4 sind die Erkenntnisse orange dargestellt. Die graue Linie entspricht der Berechnung der inneren Wärmeenergie nach der PHPP 9. Diese beginnt bei IWQ von 4,1 W/m² für Wohneinheiten ab 20 m² und nähert sich bei Wohnflächen von 200 m² an den bisherigen Standardwert (strichliert dargestellt) von 2,1 W/m² an.

Im PHPP wird davon ausgegangen, dass innere Wärmegewinne der gesamten beheizten Wohnfläche anzurechnen sind. Kleine Einheiten unter 20 m² werden nicht näher betrachtet. Für diese Arbeit ist aber gerade dieser Bereich von Interesse, da die inneren Wärmegewinne am Entstehungsort in erster Linie zur Erwärmung der Umgebungsluft beitragen, und es damit zu räumlich begrenzten Verschiebungen im Behaglichkeitsfeld kommt. Die Aufgabe des Heizsystems besteht nun darin, mit Hilfe der Regelung diese Störgröße auszugleichen. Zu diesem Zweck ist es von Bedeutung, von welchen Geräten und Haustechnikeinrichtungen Wärmeenergie zu erwarten ist und im speziellen, in welchen Räumlichkeiten diese auftreten.

Für die weitere Verarbeitung im Kapitel 5 macht es Sinn, die internen Wärmegewinne nach ihrem temporären Auftreten zu unterteilen und die Zusammenhänge mit der Raumnutzung zu betrachten.

Zyklisch anfallende interne Wärmeenergien.

In einem Wohnhaus sind es Kühlgeräte die in diese Kategorie fallen. Die Wärme tritt nur bei laufendem Verdichter in einem immer wiederkehrenden Zeitfenster auf. Die Häufigkeit des Zykluses wird hauptsächlich vom Temperaturanstieg im Innenraum des Kühlgerätes bestimmt und über ein Thermostat geregelt. Dies geschieht unabhängig vom Aufhalten

⁹⁸ Ebd.

der Betreiber im Raum oder im Gebäude, über den gesamten Tagesverlauf. Die Beeinflussung durch Personen erfolgt nur durch Befüllung in oder Entnahme aus dem Kühlgeräteinnenraum.

Interne Wärmeenergien die in Verbindung mit der Raumnutzung auftreten.

Dazu zählt eine Vielzahl von Elektrogeräte. Angefangen vom Fernseher über elektronische Geräte wie Spielkonsolen und PC, bis hin zu den Haushaltsgeräten. Viel davon sind zeitgleich, mit im Raum bzw. zumindest im Gebäude befindlichen Personen, in Betrieb. Ein großer Teil dieser inneren Wärmeenergie geht vom Menschen selber aus, diese liegt abhängig von der Tätigkeit zwischen 80 W -120 W (Siehe dazu auch Kapitel 2.6, Bild 2.12).

Interne Wärmeenergien die Jahreszeiten bedingt auftreten.

Die passive Nutzung von Solarenergie ergibt sich durch Sonnenstrahlen, welche durch ein Fenster ins Gebäude dringen und so mittels wärmespeichernde Bauteile zeitverzögert dem Raum zugutekommen. Die Erträge dieser Wärmeenergie sind sehr von Lage und Architektur des Gebäudes sowie der Witterung abhängig. Passive Solare Wärmeenergie ist in den Wintermonaten durchaus erwünscht, verursachen im Sommer jedoch höhere Kühllasten. Auch das Heizsystem selbst wird in den Wintermonaten über das Verteilsystem und eventuell vorhandenen Speichern, unkontrolliert Wärmeenergie in den Wohnräumen abgegeben.

Leistungsdaten über die abgegebene Wärmeleistung von Elektrogeräten sind relativ schwer zu erhalten, in den Datenblättern der Elektrogeräte werden die verursachten Wärmeenergien nicht angegeben. Die Vielzahl der am Markt erhältlichen Geräte und die laufenden Weiterentwicklungen in Richtung energieeffizientere Geräte erschwert zusätzlich die Erfassung dieser Daten.

Das PHPP verwendet daher für die Ermittlung der inneren Wärmeenergie Leistungsangaben, die sich auf Anzahl der Personen, Quadratmeter oder Spül- und Waschgänge beziehen. Dies ist für die erwarteten Ergebnisse, die das PHPP liefert, durchaus sinnvoll⁹⁹. Für eine Betrachtung, wie es in dieser Arbeit im Kapitel 5 vorgesehen ist, wird jedoch die reine Wärmeleistung in [W] benötigt. Die Projektinformation Nr.21 vom Projekt Cepherus erstellt von Dr. Berthold Kaufmann und Dr. Wolfgang Feist liefert, aus einer Messreihe von 2 Wo-

⁹⁹ Ebd.

chen in einem Passivhaus, Aufschlusse über die von Elektrogeräten ausgehende Wärmeenergieleistung. Diese ist in der Tab 4.5 angeführten und dient in Folge als Basis für weitere Betrachtungen¹⁰⁰.

<i>Quelle</i>	<i>Wärmeenergie.</i>
<i>Abwärme einer Person</i>	80W – 120 W
<i>Fernsehgerät</i>	120 W
<i>Haartrockner</i>	1000 W
<i>E-Herd</i>	800 W
<i>Spülmaschine</i>	1000 W
<i>Kühlschrank</i>	35 W
<i>Laptop</i>	80 W
<i>PC</i>	250 W

Tab 4.4 Tabelle innere Wärmeenergie¹⁰¹

¹⁰⁰ „05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf“, zugegriffen 10. August 2017, http://passiv.de/downloads/05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf.

¹⁰¹ Ebd., 13.

5 Wärmebedarf

Um in der Heizperiode die geforderten Innentemperaturen in Gebäuden zu erreichen, wurde in der ÖNORM EN 12831 ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Wärmezufuhr beschrieben. In Verbindung mit der ÖNORM H7500-1, welche die nationalen Parameter enthält, dient dieses Verfahren zur Berechnung der einzelnen Räume. Die Gebäudeheizlast kann in weiterer Folge aus den Raumergebnissen ermittelt werden. Zur Berechnung benötigt man die Norm-Außentemperatur. Diese ist die tiefste aus einem zweitägesmittel errechnete Luftdurchschnittstemperatur, welche in 20 Jahren 10mal erreicht oder überschritten wurde. Diese Norm-Außentemperatur ist aus einer Tabelle, die nach Postleitzahlen geordnet ist, zu entnehmen und in der ÖNORM H7500-1 verankert.

Die Innentemperaturen sind von der Nutzung des Gebäudes abhängig. In der ÖNORM EN12831 werden im Beiblatt 2 Tabelle 2, Norminnentemperaturen vorgeschlagen und üblicherweise, es sei denn es gibt eine gesonderte Vereinbarung mit den Bauherren, für die Berechnung des Wärmebedarfs und Auslegung der Heizflächen herangezogen¹⁰².

Lfd. Nr.	Raumart	Norm-Innentemperatur θ_{int} [°C]
1	Wohn- und Schlafräume	+ 20
2	Büroräume, Sitzungszimmer, Ausstellungsräume, Haupttreppenräume, Schalterhallen	+ 20
3	Hotelzimmer	+ 20
4	Verkaufsräume und Läden allgemein	+ 20
5	Unterrichtsräume allgemein	+ 20
6	Theater- und Konzerträume	+ 20
7	Bade- und Duschräume, Bäder, Umkleideräume, Untersuchungszimmer (generell jede Nutzung für den unbedeckten Bereich)	+ 24
8	WC-Räume	+ 20
9	Beheizte Nebenräume (Flure, Treppenhäuser)	+ 15
10	Unbeheizte Nebenräume (Keller, Treppenhäuser, Abstellräume; siehe Tabelle 4)	+ 10

Tab 5.1 Norm-Innentemperaturen¹⁰³

¹⁰² Normungsinstitut österreichisches, Hrsg., „ÖNORM EN 12831“ (ON, 01 2003).

¹⁰³ Ebd.

In diesem Kapitel wird im ersten Schritt mit Hilfe dieser Berechnungsmethode der Wärmebedarf bei Normaußentemperatur für ein Musterhaus (Anhang A-I) berechnet. Die Berechnung wird mit Hilfe einer von der Fa. Rehau zur Verfügung gestellten Berechnungssoftware Rauwin8, welche auf der Software Linear basiert, durchgeführt.

Im zweiten Schritt wird das Verhalten des Wärmebedarfs zur Außentemperatur untersucht, indem die Berechnung mit steigender Außentemperatur, bei gleichen Raumsolltemperaturen, in 1 K Schritten durchgeführt wird. Das Ergebnis wird anschließend in einer Grafik dargestellt.

Im dritten Schritt fließen Wärmeeinträge, die durch Nutzung der Räume der Menschen selbst und jene Lasten, die durch unkontrollierbare Wärmeabgabe des Heizsystems entstehen, in die Betrachtung mit ein.

5.1 Norm Heizlast

Ziel dieses Unterkapitels ist es, anhand eines Musterhauses am selben Standort unter selben Nutzungsbedingungen aber unterschiedlichen Dämmstandards, die Auswirkungen auf die Norm Heizlast zu veranschaulichen. Für das Passivhaus wurde bewusst diese Berechnungsmethode gewählt und die Ermittlung nicht nach PHPP, ohne Berücksichtigung innerer Wärmeenergien, ausgeführt. Der Grund dafür liegt in der Vergleichbarkeit der verschiedenen Gebäudeausführungen.

Zur Berechnung der Normheizlast des Musterhauses werden folgende Grunddaten festgelegt.

Standort des Gebäudes 8010 Graz¹⁰⁴:

- Seehöhe: 369 m
- Norm -Außentemperatur: -12° C
- Heizgradtage: 3345

Lichte Raumhöhe: 2,60 m

Rauminnentemperaturen:

- Wohnräume 22° C
- Küche 22° C
- Nassräume 24° C
- Schlafräume 20° C

¹⁰⁴ „Klimatabelle“, zugegriffen 15. Juni 2017, http://www.ifea.tugraz.at/hp_old/heizlast/wertetab2.htm.

- Vorraum 20° C
- Wirtschaftsraum 20° C

In der Ersten Berechnung wird das Gebäude auf Passivhausstandart ausgelegt. Durch die notwendige Dichtheit des Gebäudes ist es unumgänglich dieses mit einer Zu- und Abluftanlage auszustatten. Die Zulufttemperatur wird durch Wärmerückgewinnung auf 18° C konditioniert. Die Dämmwerte entsprechen Passivhaus Anforderungen. Die maximale Luftwechselrate 0,6 /h bezieht sich auf die für ein Passivhaus geforderte mindest Dichtheit des Gebäudes. Für die Berechnung werden nachfolgend angeführte Dämmwerte und Luftwechselzahl verwendet.

Dämmwerte:

- Außenwände: 0,111 W/m²K
- Fundamentplatte Fliese: 0,146 W/m²K
- Fundamentplatte Parkett: 0,160 W/m²K
- Flachdach: 0,103 W/m²K
- Fenster und Türen: 0,670 W/m²K

Luftwechsel 0,6 /h

Aus der Berechnung ergibt sich Zusammengefasst folgendes Ergebnis:

Spezifische Werte				
Beheizte Gebäudenutzfläche	$A_{N,Geb}$	=	117.73 m²	$\Phi_{HL,Geb}$ = 24.90 W/m²
Beheiztes Netto-Gebäudevolumen	$V_{N,Geb}$	=	307.27 m³	$\Phi_{HL,Geb}$ = 9.54 W/m³
wärmeübertragende Umfassungsfläche	A	=	407.36 m²	
Spezifischer Transmissionswärmeverlust				H'_T = 0.17 W/(m²K)
Wärmeverluste				
Transmissionswärmeverluste (nach außen)	$\Phi_{T,Geb}$			2324 W
Mindest-Luftwechsel	$\Phi_{V,min,Geb}$	=	$\zeta_{min} * \Sigma \Phi_{V,min}$	0 W
natürliche Infiltration ohne RLT	$\Phi_{V,inf,Geb}$	=	$\zeta_{inf} * \Sigma \Phi_{V,inf}$	0 W
mech. belüftete Räume				
aus natürlicher Infiltration mit RLT	$\Phi_{V,inf,Geb}$	=	$\zeta_{inf} * \Sigma \Phi_{V,inf}$	44 W
aus mechanischem Zuluftvolumenstrom	$\Phi_{V,su,Geb}$	=	$\zeta_{su} * \Sigma \Phi_{V,su}$	563 W
Abluftvolumenüberschuss	$\Phi_{V,mech,inf,Geb}$	=	$\zeta_{mech,inf} * \Sigma \Phi_{V,mech,inf,Geb}$	0 W
Lüftungswärmeverluste	$\Phi_{V,Geb}$			608 W
Gebäudeheizlast				
Netto-Heizlast	$\Phi_{N,Geb}$			2932 W
Zusatz-Heizlast (für selten oder unterbrochen beheizte Räume)	$\Phi_{RH,Geb}$			0 W
Norm-Gebäudeheizlast	$\Phi_{HL,Geb}$			2932 W

Tab 5.2 Ergebnis Heizlastberechnung nach Passivhausstandard

Die Norm Heizlast für diese Gebäude auf Passivhausstandard beträgt 2932 W oder 24,90W/m²

In der zweiten Berechnung wird das selbe Gebäude mit Niedrigenergiestandard berechnet. Um den von der OIB 6 Richtlinie geforderten Wärmeenergiebedarf nicht zu überschreiten ist es wiederum notwendig, das Gebäude in einer sehr dichten Bauweise auszuführen. Der dafür erlaubte Luftwechsel von 1 /h darf nicht überschritten werden. Daher ist es auch bei dieser Ausführung notwendig, eine zu und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung zu installieren. Die Zuluft, wird wie bei der Berechnung zuvor, auf 18°C vorkonditioniert. Für die Berechnung nach Niedrigenergiestandard werden folgende Werte angenommen.

Dämmwerte¹⁰⁵

- Außenwände: 0,18 W/m²K
- Fundamentplatte Fliese: 0,19 W/m²K
- Fundamentplatte Parkett: 0,20 W/m²K
- Flachdach: 0,12 W/m²K
- Fenster und Türen: 0,90 W/m²K

Luftwechsel 1 /h

Aus der Berechnung ergibt sich Zusammengefasst folgendes Ergebnis

Spezifische Werte				
Beheizte Gebäudenutzfläche	$A_{N,Geb}$	=	117.73 m ²	$\Phi_{HL,Geb}$ = 30.40 W/m ²
Beheiztes Netto-Gebäudevolumen	$V_{N,Geb}$	=	307.27 m ³	$\Phi_{HL,Geb}$ = 11.65 W/m ³
wärmeübertragende Umfassungsfläche	A	=	407.36 m ²	
Spezifischer Transmissionswärmeverlust				H'_T = 0.22 W/(m ² K)
Wärmeverluste				
Transmissionswärmeverluste (nach außen)	$\Phi_{T,Geb}$			2942W
Mindest-Luftwechsel	$\Phi_{V,min,Geb}$	= $\zeta_{min} * \Sigma \Phi_{V,min}$		0W
natürliche Infiltration ohne RLT	$\Phi_{V,inf,Geb}$	= $\zeta_{inf} * \Sigma \Phi_{V,inf}$		0W
mech. belüftete Räume				
aus natürlicher Infiltration mit RLT	$\Phi_{V,inf,Geb}$	= $\zeta_{inf} * \Sigma \Phi_{V,inf}$		74W
aus mechanischem Zuluftvolumenstrom	$\Phi_{V,su,Geb}$	= $\zeta_{su} * \Sigma \Phi_{V,su}$		563W
Abluftvolumenüberschuss	$\Phi_{V,mech,inf,Geb}$	= $\zeta_{mech,inf} * \Sigma \Phi_{V,mech,inf,Geb}$		0W
Lüftungswärmeverluste	$\Phi_{V,Geb}$			637W
Gebäudeheizlast				
Netto-Heizlast	$\Phi_{N,Geb}$			3579W
Zusatz-Heizlast (für selten oder unterbrochen beheizte Räume)	$\Phi_{RH,Geb}$			0W
Norm-Gebäudeheizlast	$\Phi_{HL,Geb}$			3579W

Tab 5.3 Ergebnis Heizlastberechnung nach Niedrigenergiehaus-Standard

¹⁰⁵ „Niedrigstenergiehaus.pdf“, zugegriffen 15. Juni 2017, http://www.energiesparverband.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Niedrigstenergiehaus.pdf.

Die Norm Heizlast für diese Gebäude auf Niedrigenergiestandard nach OIB 6 Richtlinie beträgt 3579 W oder 30,40 W/m²

In der 3 Berechnung wird wiederum das selbe Gebäude, aber diesmal mit einfachem OIB & Standard, berechnet. Um auf die Installation Zu und Abluftanlage mit Wärmegewinnung verzichten zu können, ist es von Nöten die Luftwechsel auf einen Mindestwert von 3 /h zu erhöhen. Für die Berechnung nach OIB 6 werden folgende Werte verwendet.

Dämmwerte¹⁰⁶

- Außenwände: 0,35 W/m²K
- Fundamentplatte Fliese: 0,40 W/m²K
- Fundamentplatte Parkett: 0,40 W/m²K
- Flachdach: 0,20 W/m²K
- Fenster und Türen: 1,40 W/m²K

Luftwechsel 3 /h

Aus der Berechnung ergibt sich Zusammengefasst folgendes Ergebnis:

Spezifische Werte				
Beheizte Gebäudenutzfläche	$A_{N,Geb}$	=	117.73 m ²	$\Phi_{HL,Geb}$ = 55.79 W/m ²
Beheiztes Netto-Gebäudevolumen	$V_{N,Geb}$	=	307.27 m ³	$\Phi_{HL,Geb}$ = 21.38 W/m ³
wärmeübertragende Umfassungsfläche	A	=	407.36 m ²	
Spezifischer Transmissionswärmeverlust				H'_T = 0.34 W/(m ² K)
Wärmeverluste				
Transmissionswärmeverluste (nach außen)	$\Phi_{T,Geb}$			4569 W
Mindest-Luftwechsel	$\Phi_{V,min,Geb}$	= $\zeta_{min} * \Sigma \Phi_{V,min}$		1999 W
natürliche Infiltration ohne RLT	$\Phi_{V,inf,Geb}$	= $\zeta_{inf} * \Sigma \Phi_{V,inf}$		221 W
mech. belüftete Räume				
aus natürlicher Infiltration mit RLT	$\Phi_{V,inf,Geb}$	= $\zeta_{inf} * \Sigma \Phi_{V,inf}$		0 W
aus mechanischem Zuluftvolumenstrom	$\Phi_{V,su,Geb}$	= $\zeta_{su} * \Sigma \Phi_{V,su}$		0 W
Abluftvolumenüberschuss	$\Phi_{V,mech,inf,Geb}$	= $\zeta_{mech,inf} * \Sigma \Phi_{V,mech,inf,Geb}$		0 W
Lüftungswärmeverluste	$\Phi_{V,Geb}$			1999 W
Gebäudeheizlast				
Netto-Heizlast	$\Phi_{N,Geb}$			6569 W
Zusatz-Heizlast (für selten oder unterbrochen beheizte Räume)	$\Phi_{RH,Geb}$			0 W
Norm-Gebäudeheizlast	$\Phi_{HL,Geb}$			6569 W

Tab 5.4 Ergebnis Heizlastberechnung nach OIB 6-Standard

Die Norm Heizlast für diese Gebäude nach OIB 6 Richtlinie beträgt 6569 W oder 55,79 W/m²

¹⁰⁶ „richtlinie_6_26.03.15.pdf“, zugegriffen 15. Juni 2017, https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf.

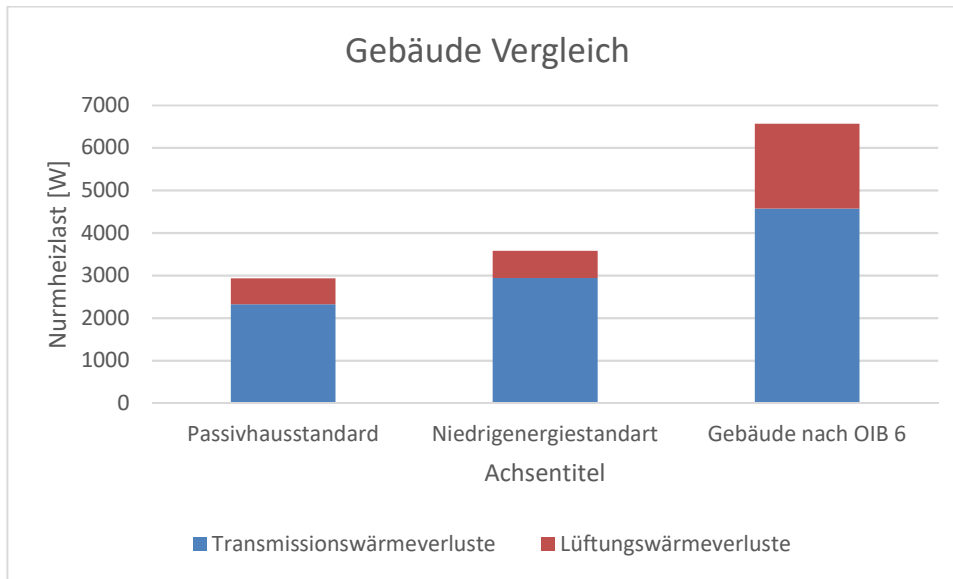


Bild 5.1 Normheizlast ein und desselben Gebäudes mit unterschiedlichen Ausführung

Im Bild 5.1 sind die Ergebnisse aus den zuvor durchgeführten Berechnung grafisch gegenübergestellt. Das Niedrigenergiehaus benötigt ca. 650 W mehr an Heizlast als des selbe Gebäude in Passivhausstandard, wobei der Hauptanteil durch die bessere Dämmung erzielt wurde. Die Lüftungsverluste sind annähernd gleich und machen bezogen auf die Normheizlast ca. 18 % beim Niedrigenergiestandard bzw. 20% beim Passivhaus aus.

Beim Gebäude nach OIB Standard Verdoppelt sich im Vergleich zum Passivhausstandard die Transmissionwärmeverluste. Die Lüftungsverluste erhöhen sich hingegen mehr als um das Dreifache.

Um im Punkt „maximaler Heizlast“ die vorgegebenen Ziele der Europäischen Union zu erreichen ist es notwendig, die Gebäudehüllen zu verbessern und aus Energietechnischer Sicht mit einer geringen Luftdurchlässigkeit auszuführen. Somit wird eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung ein wesentlicher Bestandteil der Gebäudetechnischen Ausrüstung. Die Aufgabe dieser Anlagen ist es nicht nur, den hygienischen Luftwechsel zu gewährleisten, sondern auch Behaglichkeitsanforderungen in punkto Luftfeuchte, -qualität und -temperatur zu erfüllen.

Berücksichtigt man bei den Berechnungen interne Wärmeenergien, wie bei der Projektierung von Passivhäusern nach PHPP üblich ist, sind noch geringere maximale Heizlasten zu erreichen. In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeit „*Heizlast in Passivhäusern-Validierung durch Messungen*“, erstellt von Dr. Wolfgang Feist vom Passivhaus Institut, verwiesen. In dieser Arbeit wurden Messergebnisse zur maximalen Heizlast aus insgesamt 153 Wohneinheiten in Passivhäusern (oder fast-Passivhäuser) sowie in 8 Wohneinheiten

einer Niedrigenergiehaussiedlung untersucht und zum Nachweis der Tauglichkeit von Heizlastberechnungsverfahren verwendet¹⁰⁷.

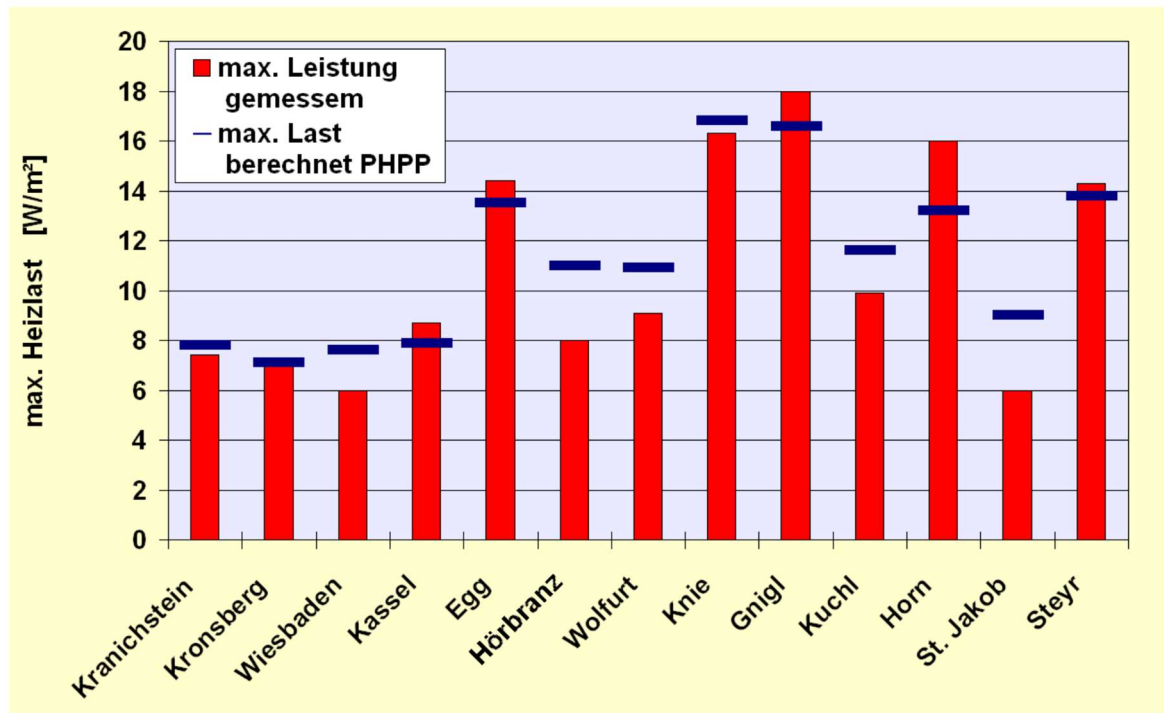


Bild 5.2 Vergleich der gemessenen maximalen Heizleistung¹⁰⁸

Bild 5,2 zeigt die Zusammenstellung dieser Messergebnisse aus der Untersuchung der unterschiedlichen Gebäude. Ein großer Teil der Gebäude liegt bei der maximalen Heizlast unter 14 W/m^2 und gerade bei diesen Gebäuden liegen die Messergebnisse unter den Rechenergebnissen. Auch bei den Gebäuden mit größerem Wärmebedarf bis 18 W/m^2 ist die Abweichung des gemessenen zum errechneten Wärmebedarf nicht bedeutend.

Aus diesem Ergebnis ist zu erkennen, dass es Sinn macht, für die Berechnung der Heizlast auch Wärmeenergiegewinne zu berücksichtigen.

5.2 Wärmebedarf in Abhängigkeit zur Außentemperatur

Ziel der Heizlastberechnung ist es, den maximalen Wärmebedarf für die nachfolgende Planung des Heizsystems zu erhalten. In der Praxis werden diese Bedingungen selten erreicht. Aus einer Messreihe, die für Studien um das Passivhaus durchgeführt wurde, ist dies sehr gut zu erkennen.

¹⁰⁷ „05_heizlast.pdf“, zugegriffen 10. August 2017, http://www.passiv.de/downloads/05_heizlast.pdf.

¹⁰⁸ „05_heizlast.pdf“, 143, zugegriffen 10. August 2017, http://www.passiv.de/downloads/05_heizlast.pdf.

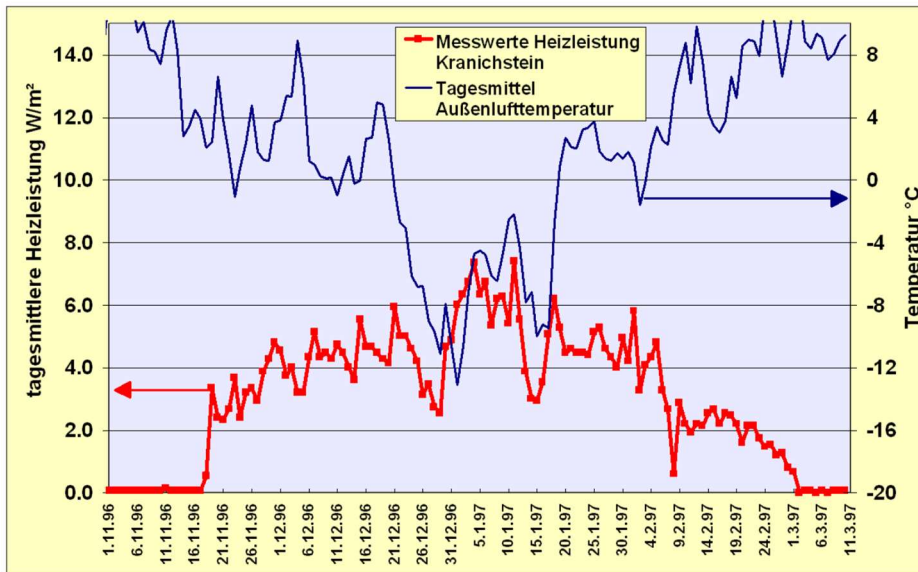


Bild 5.3 Verlauf des Tagesmittels der gemessenen Heizleistung und der Außentemperatur¹⁰⁹

Bild 5.3 zeigt den gemessenen Wärmebedarf eines Passivhauses in Darmstadt-Kranichstein. Bei diesem Objekt lag der berechnete maximale Heizwärmebedarf bei 8 W/m^2 , der gemessene Maximalwert lag bei $7,4 \text{ W/m}^2$. Dass bei annähernd konstanten Raumtemperaturen im Zeitraum vom 15. Dezember bis 22. Jänner wie in Bild 5.4 zu erkennen ist.

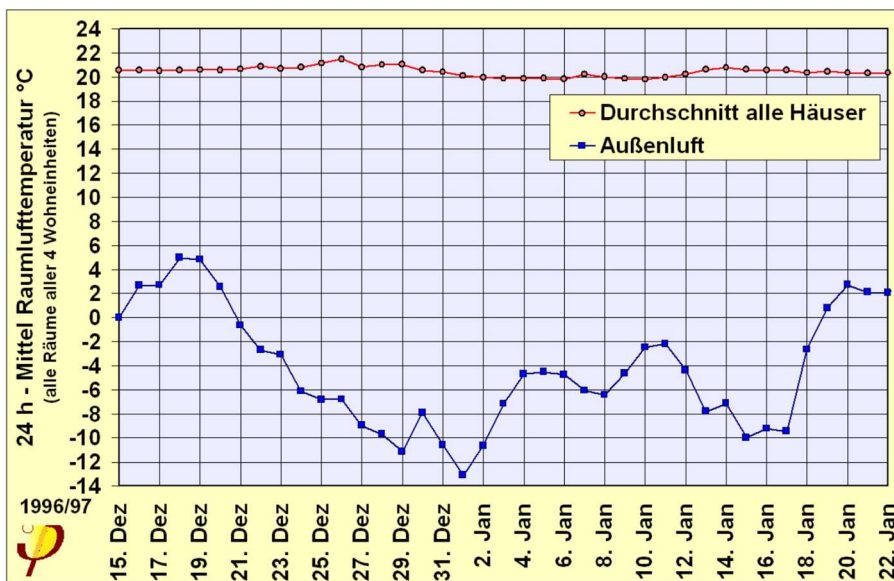


Bild 5.4 Verlauf der Raumtemperatur¹¹⁰

¹⁰⁹ „05_heizlast.pdf“, 13.

¹¹⁰ Ebd., 11.

Aus den Messergebnissen ist eindeutig zu erkennen, dass sich das Heizsystem zum größten Teil im Teillastbereich befindet. Im nachfolgenden Bild 5.5 ist der Verlauf des Wärmebedarfs in Abhängigkeit zur Außentemperatur zu unserem Musterhaus vereinfacht dargestellt. Um die Werte zu erhalten, wurde durch eine in 1 K schrittweise Änderung der Normaußentemperatur, im Berechnungsprogramm Rauwin8, der Verlauf des Wärmebedarfs der 3 Musterhausvarianten ermittelt. Ergänzend wird für 3 Referenzräume (Badezimmer, Küche und Wohnzimmer) der Wärmebedarfsverlauf auf dieselbe Weise ermittelt. Die Ergebnisse sind in der im Anhang 3 befindlichen Tabelle zusammengefasst. Der Wärmebedarfsverlauf der 3 Musterhausvarianten ist im nachfolgenden Diagramm dargestellt.

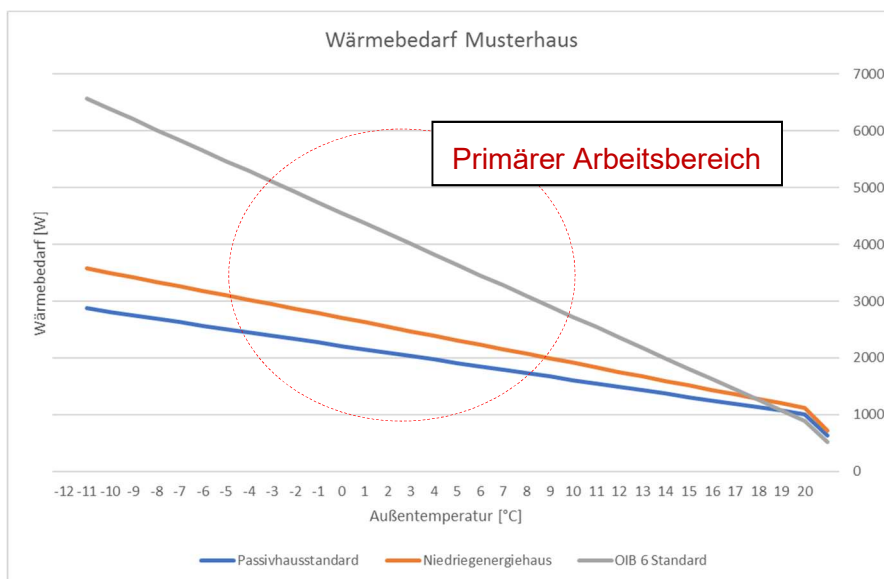


Bild 5.5 Wärmebedarfsverlauf der Musterhäuser in Abhängigkeit der Außentemperatur

Der Wärmebedarfsverlauf ist linear. Die Linien beginnen in einem Wurzelpunkt bei annähernd 20 °C. Je besser die Dämmung, umso flacher ist der Verlauf der Wärmebedarfs-Linien. Ausgehend davon, dass die Normaußentemperatur nur an wenigen Tagen einer Heizperiode vorherrscht, liegt der Fokus im Temperaturbereich von -5 °C bis 10 °C. Zwischen der Ausführung im Passivhausstandard und dem Niedrigenergiehaus, liegt der Unterschied beim Wärmebedarf des Gesamtgebäudes im Mittel bei ca. 400 W. Bei der Ausführung im OIB6 Standard ist der Verlauf der Wärmebedarfslinie wesentlich steiler. Der mehr Energiebedarf bei 10° C liegt bei ca. 1.000W und verändert sich bei -5° C auf ca. 2.500W. Vergleicht man den Verlauf des Wärmebedarfs in den Referenzräumen zeigt sich das selbe Bild.

Aus der Erkenntnis, dass das Heizsystem hauptsächlich im Teillastbereich liegt, ist bei der Wahl des Wärmeerzeugers zu vermeiden, dass dessen Leistung über der errechneten maximalen Heizlast liegt und wie sein Verhalten im Teillastbereich ist. Der flache Verlauf des Wärmebedarfs beim Passivhaus- und Niedrigenergiestandard bewirkt, dass die Leistungsbandbreite des Wärmeerzeugers bei ca. 1000 W liegen soll. Bei Gebäuden mit höherem Wärmebedarf (z.B.: OIB 6 Standard) ist dieser Bereich um ein Vielfaches höher und stellt damit größere Anforderungen an den Wärmeerzeuger.

5.3 Wärmebedarf in Verbindung mit Inneren Lasten

Für die Betrachtung sind jene inneren Lasten von Interesse, die durch die Nutzung der Räumlichkeiten entstehen. Neben der Wärme die vom Menschen ausgeht, ist auch jene Wärmeenergie zu berücksichtigen, welche durch die Nutzung von Elektrogeräten verursacht wird. Wie in Kapitel 4.5 bereits behandelt werden im PHPP die inneren Lasten für die Ermittlung der Heizlast herangezogen. In diesem Kapitel ist es das Ziel, die Auswirkungen der auftretenden inneren Lasten, auf die Behaglichkeit in den Aufstellungsräumen, darzustellen.

Basis der Betrachtung ist das Musterhaus im Passivhausstandard. Für die Betrachtung werden das Badezimmer, das Wohnzimmer und die Küche herangezogen. Zur Beheizung ist ein Flächenheizsystem mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 35° C installiert. Der Fußbodenheizungsverteiler ist zentral im Gebäude und somit in der Küche positioniert.

Für das Badezimmer werden folgende Annahmen getroffen:

Im Raum befindet sich eine Person, deren abgegebene Leistung mit 120 W angenommen wird. Ergänzend in einem zweiten Diagramm, wird von der Person ein Haarfön mit 1000 W verwendet.

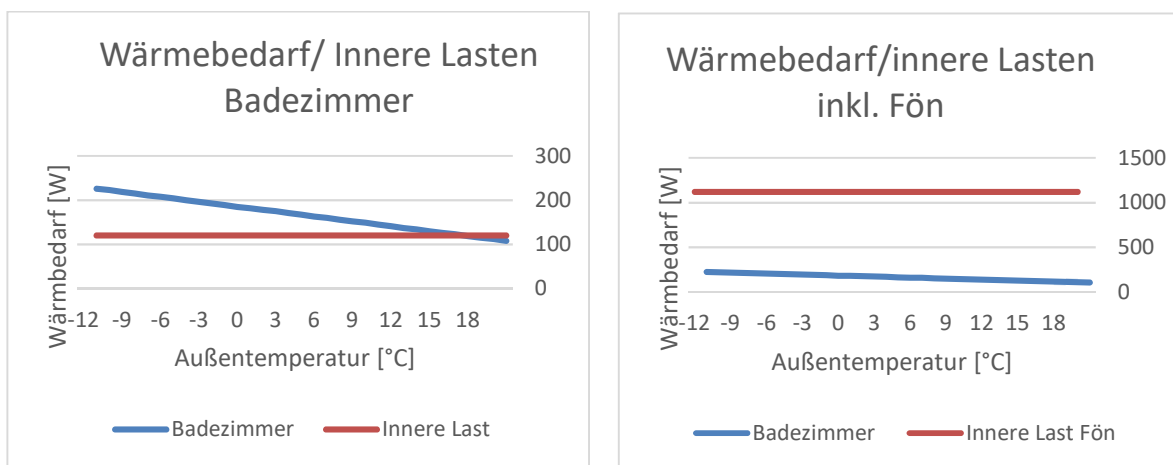


Bild 5.6 Wärmebedarfsverlauf Badezimmer in Abhängigkeit der Außentemperatur

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass schon die innere Last einer Person die Hälfte der Norm-Heizlast abdecken kann. Im Beobachtungstemperaturbereich -5° C bis 10° C werden bei -5° C 60% und bei 10° C 80 % der benötigten Heizlast von der inneren Last abgedeckt. Bei benützen des Föns wird kurzzeitig der Wärmebedarf um das ca. 5,5 fache der maximalen Heizlast überschritten.

Für das Wohnzimmer werden folgende Annahmen getroffen:

Im Wohnraum befinden sich vier Personen, die abgegebene Leistung wird mit 80 W/Person angenommen. In einer zweiten Darstellung wird ergänzend ein Fernsehgerät mit 120 W Wärmeenergie betrieben.

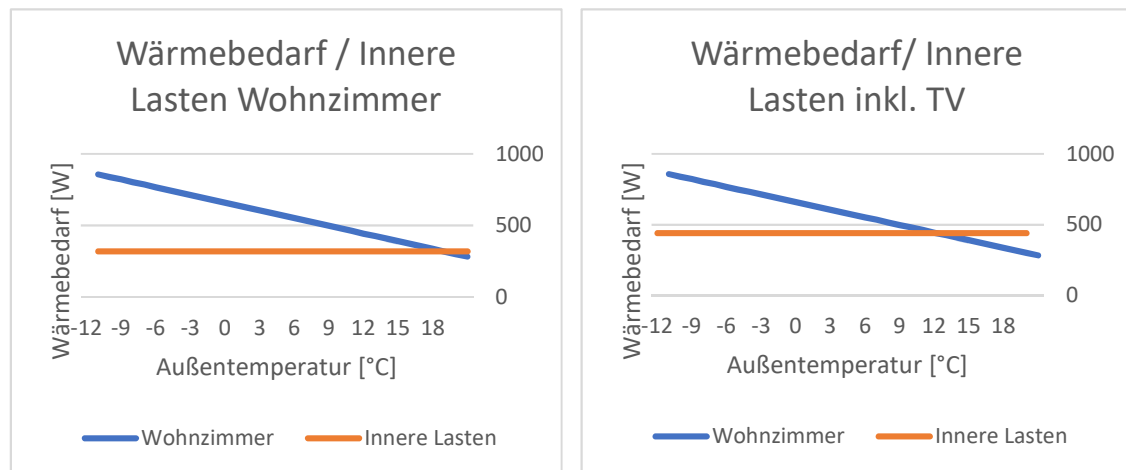


Bild 5.7 Wärmebedarfsverlauf Wohnzimmer in Abhängigkeit der Außentemperatur

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass die eingebrachten inneren Lasten ca. 1/3 der Norm-Heizlast abdecken. Bei -5° C sind es ca. 40% und bei 10° C bereits ca. 65% der benötigten Heizlast die von der inneren Last eingebracht werden. Die zusätzliche Berücksichtigung des Wärmeeintrages durch das TV-Gerät verschiebt den Schnittpunkt der beiden Linien von ca. 18 °C auf ca. 12 °C Außentemperatur. In weitere Folge verändert sich damit das Prozentuelle Abdeckungsverhältnis zu Gunsten der inneren Lasten.

Für die Küche werden folgende Annahmen getroffen:

In der Küche befinden sich zwei Personen, die abgegebene Leistung wird mit 100W/Person angenommen. Zusätzlich befindet sich noch der 12fach Fußbodenheizungsverteiler in der Küche. Wie üblich sind Anbindeleitungen zu den Heizkreisen und der Verteilerbalken nicht isoliert. Als wirksame Längen sind 1m/Heizkreis und 2m für den Heizungsverteilerbalken anzusehen. Unter der Annahme des in Kapitel 3 Tab 3.2 angegebenen Wärmeverlustes von 0,493 W/m K und einem Temperaturunterschied von Vorlauftemperatur zur Raumtemperatur von 13 K ergibt sich eine abgegebene Leistung von ca. 90 W. Im zweiten Diagramm wird zusätzlich noch der E-Herd mit 800 W betrieben.

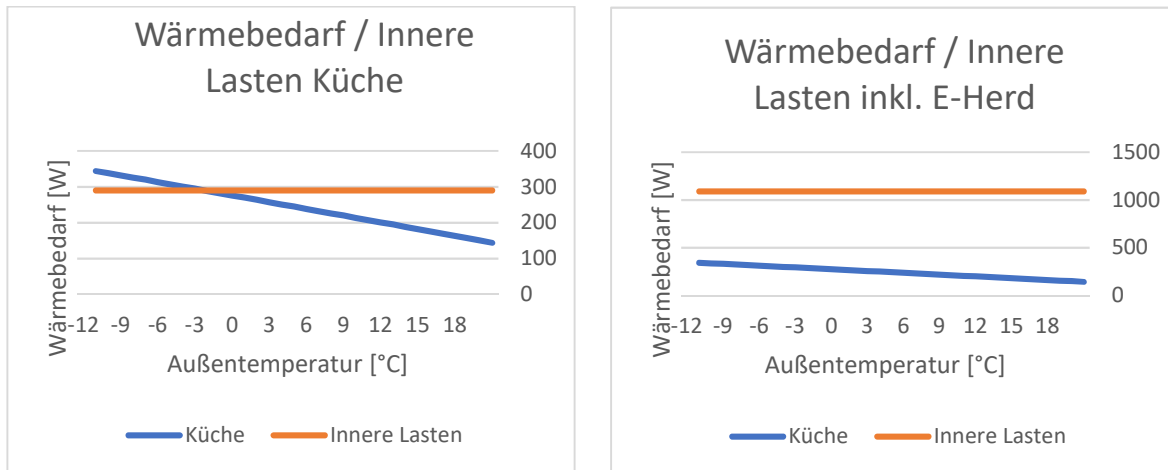


Bild 5.8 Wärmebedarfsverlauf Küche in Abhängigkeit der Außentemperatur

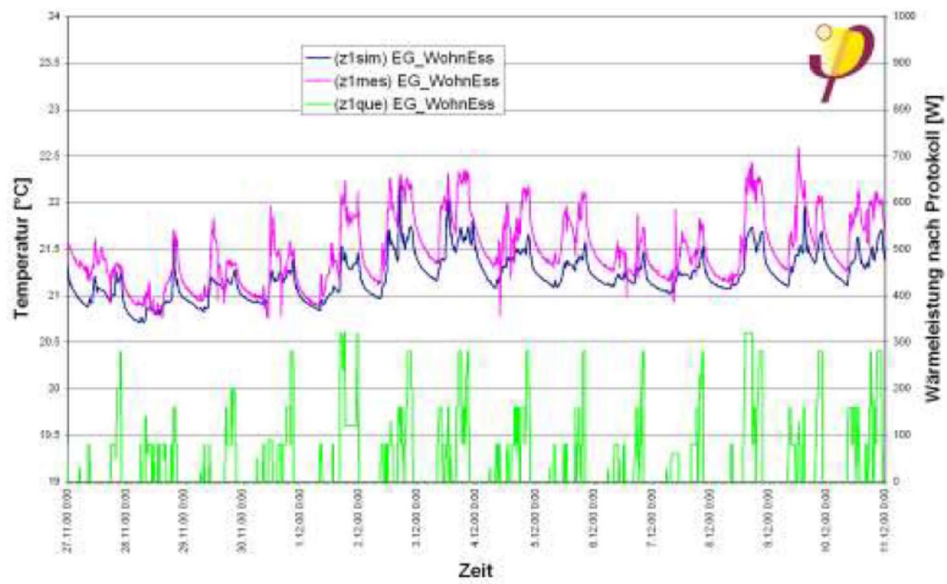
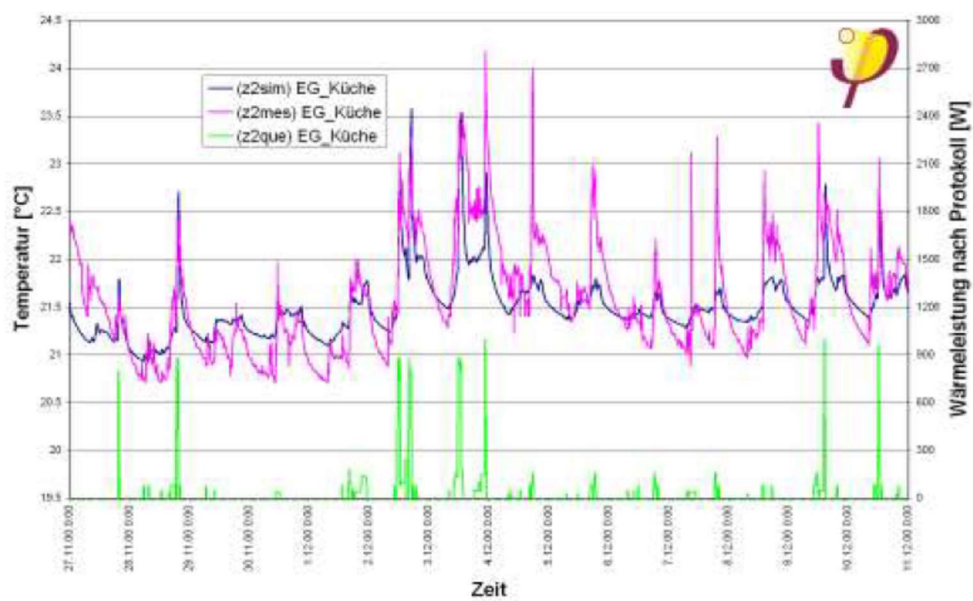
Die Küche ist ein spezieller Fall, ab einer Außentemperatur von -3°C reichen die inneren Lasten, verursacht durch zwei Personen und dem Heizungsverteiler, dafür aus, die benötigte Heizlast zu erreichen. Bei 10°C entsteht eine Überdeckung von ca. 30%. Berücksichtigt den E-Herd erfolgt eine sofortige zweifache Überdeckung der geforderten Heizlast. Bekannterweise befinden sich gerade im Küchenbereich noch weitere Haushaltsgeräte, welche bei Betrieb noch zusätzlich Wärmeenergie abgeben.

Zu den rechnerischen Annahmen, welche nur einem theoretischen Gedankenansatz gleich kommen, zeigen nachfolgende Messergebnisse, die Auswirkung von innerer Wärmeenergie auf das Raumtemperaturverhalten. Die Messungen kommen wiederum aus der Projektinformation Nr. 21 des Passivhaus Institutes. Durchgeführt wurden diese Messungen über einen Zeitraum von 2 Wochen in einem Passivhaus in Hannover Kronsberg¹¹¹.

Um für diese Arbeiten die Auswirkungen von innerer Wärmegewinne zu betrachten, wurden wiederum Auswertungen über zwei Wochen für Wohnzimmer, Küche und Bad gewählt. In den nachfolgenden Darstellungen (Bild 5.9 bis 5.12) zeigen die grünen Linien die Wärmeeinträge und die violette Linie die Gemessene Raumtemperaturen. In diese Studie¹¹², die als Quelle der Messergebnisse dient, wurde durch Simulation der erhobenen Daten die resultierende Raumtemperatur errechnet, welche mittels blauer Linie im Diagramm dargestellt sind. Für die Betrachtung in dieser Arbeit sind die Wärmeeinträge und die gemessene Raumtemperaturänderung von Bedeutung.

¹¹¹ „05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf“.

¹¹² Ebd.

Bild 5.9 Wohnzimmer¹¹³Bild 5.10 Küche¹¹⁴¹¹³ Ebd.¹¹⁴ Ebd.

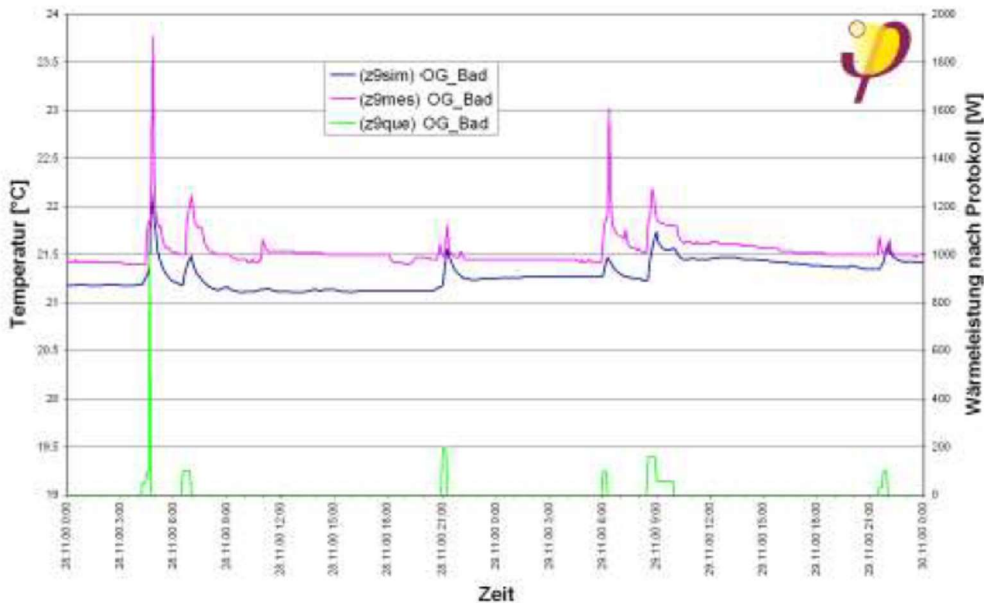


Bild 5.11 Bad¹¹⁵

Aus dem rechnerischen Ansatz und den erhobenen Messergebnissen der Studie des Passivhaus Institutes ergibt sich, dass innere Wärmeerträge den Wärmeintrag, der über das Heizungssystem eingebracht wird, mit Hilfe einer Einzelraumregelung reduzieren können. Die Wirkung ist jedoch wiederum von der Trägheit des Wärmeabgabesystems abhängig.

Dennoch ergeben sich weitreichende Konsequenzen in der Gestaltung der Beheizung und Belüftung von Passiv- bzw. Niedrigenergiehäusern. Ziel ist es, dass sich die Schwankungen der Raumbedingungen im Behaglichkeitsfenster abspielen. Aus den Messergebnissen und dem Simulationsergebnis ist eindeutig zu erkennen, dass ein zusätzlicher Energieeintrag unmittelbar zu einer Erhöhung der Raumtemperatur führt. Der Schwankungsbereich liegt Raumabhängig zwischen 2 K und 4 K. Die Ursache dafür liegt darin, dass Innere Wärmeerträge hauptsächlich zur Lufterwärmung beitragen. Dies steht eigentlich im Widerspruch zu den Behaglichkeitskriterien, die Warme Umschließungsflächen und eine kühlere Raumlufttemperatur fordern.

Ergänzend wird durch die Feuchteabgabe von Personen und Haushaltsgeräten (öffnen eines Geschirrspülers, Föhn, ...) kurzfristig die Raumluftfeuchte erhöht. Daraus ergeben sich erhöhte Anforderung an das Zu- und Abluftsystem. Aus der Sicht der Behaglichkeit ist es zielführend, den internen Wärmeenergieertrag so gering wie möglich zu halten.

¹¹⁵ Ebd.

6 Auswirkungen auf das Heizsystem

Aus der Geschichte wissen wir, dass sich die Heizsysteme laufend neuen technischen Erfindungen anpassen müssen. Ob es die offene Anlage ist, aus der die Geschlossene wurde, ob es die Schwerkraftheizung ist, die durch die Pumpenheizung abgelöst wurde oder die Einrohrheizung der Zweirohrheizung weichen musste.

Auch bei der Energiegewinnung geht der Trend in Richtung erneuerbare Energie. Und klassische Energiequellen verlieren im Neubau an Bedeutung. Die rasche Entwicklung auf dem Sektor Wärmedämmung und der damit verbundene Energiebedarf stellt die Technische Gebäude Ausrüstung vor neue Herausforderungen. Zusätzlich ist auch auf die Architektur und Gebäude Be- und Verschattung immer mehr Aufmerksamkeit zu schenken, um auch die äußeren Lasten gezielt nutzen zu können, ohne dabei Behaglichkeitsgrenzen im Gebäudeinneren zu überschreiten bzw. die TGA zu überfordern. Das Schlagwort dazu ist integrale Planung, welche ein wesentlicher Schritt zur Optimierung von Komfort und Energieverbrauch ist.

Durch den Boom der E-Mobilität sowie der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Speicherung (zur späteren Nutzung) der elektrischen Energie, eröffnen sich neue Möglichkeiten und Heizungsvarianten. Im Fokus stünde dann die Energiegewinnung durch Photovoltaik oder Windkraft, in Kombination mit dezentraler Speicherung um den Eigennutzungsgrad privater Anlagen auf 100% zu bringen. In dem Zusammenhang macht es auch einen Sinn die Warmwasserbereitung vom Heizungssystem zu entkoppeln und für die Warmwasserbereitung überschüssige Erträge aus der PV-Anlage oder Abwärmen aus der Wohnraumlüftung in Verbindung mit einer Brauchwasserwärmepumpe zu nutzen.

Auch auf Erreichen und Einhaltung von Behaglichkeitskriterien wird vom Raumnutzer immer mehr Wert gelegt. So bekommen raumluftechnische Kriterien eine höhere Bedeutung als Thermische. Dies stellt nicht nur das Wärmeabgabesystem, sondern auch die Regelungstechnik vor eine neue Aufgabenstellung. In diesem Zusammenhang ergibt sich dann auch die Frage ob die Erfassung der Gebäudeheizlast nach ÖNORM EN 12831 noch ausreichende Ergebnisse liefert oder ob es nur durch Gebäudesimulation möglich ist eine optimierte Auslegung und Dimensionierung der TGA durchzuführen.

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse aus den voran gegangenen Kapiteln zusammengefasst und aus verschiedenen Sichtweisen betrachtet. Ziel ist es zu zeigen wo bisherige Systeme an ihre jeweiligen Grenzen stoßen und welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um das eine oder andere Heizsysteme auch noch in Zukunft installieren zu können.

6.1 Aus der Sicht der Wärmeerzeugung

Die Zielsetzung im Sinne des Klimaschutzes ist es, bei der Errichtung von neuen Gebäuden die Wärmedämmung auf Niedrigenergiehaus-Standard oder besser (Passivhaus-Standard) zu bringen. Das wiederum bedeutet, dass ein Einfamilienhaus mit einer Heizleistung von 3.000 W- 4.000 W und darunter das Auslangen findet. Parallel dazu reduziert sich auch der zu regelnde Leistungsbereich zur Außentemperatur von ca. 800 W – 4000 W (siehe dazu Kapitel 5.1 u. 5.2)

Unter diesen Gesichtspunkten wäre es notwendig Wärmeerzeuger mit einer Nenn-Wärmeleistung um die 4.000 W einzusetzen, diese sollten zusätzlich in der Lage sein (z.B.: durch Modulation) die tatsächlich benötigte Leistung ohne wesentlichen Wirkungsgradverlust zu liefern.

Aus der Sicht der Wärmeerzeuger, die als Energiequelle Stückholz, Pellet oder Hackgut nutzen, gibt es Pellets befeuerte Heizkessel ab einer Nenn-Wärmeleistung von 5 kW. Bei den Stückholz oder Hackgut Kessel beginnt die Nenn Wärmeleistung bei 10 kW – 13 kW. Zudem stellen diese Systeme hohe Vorlauftemperaturen zur Verfügung. Unter gegebenen Voraussetzungen ist es bei diesen Anlagen unbedingt notwendig, mittels Installation eines Pufferspeichers dafür zu sorgen, dass es in den Heizgeräten zu einer vollständigen und schadstoffarmen Verbrennung kommt, der Kessel vom Heizungsmedium ausreichend durchströmt wird und das nachfolgende Heizungssystem bedarfsoptimiert aus dem Puffer versorgt wird. Die Wärmeerzeugung über Biomasse liefert hohe Systemvorlauftemperaturen, damit können Hoch- und Niedertemperaturheizsysteme versorgt werden. Durch die im Heizraum befindlichen Einbauteile (Heizkessel und Pufferspeicher) wird im Heizbetrieb auch Wärmeenergie an die Raumluft abgegeben und geht dem System verloren. Neben einem Heizraum ist auch ein Brennstofflagerraum notwendig.

Auch bei Wärmepumpen, obwohl diese ab 4 kW Heizleistung erhältlich sind, sind Lastausgleichsspeicher vorzusehen. Dies liegt daran, dass bei vielen Geräten noch keine Leistungsmodulation möglich ist und in Kombination mit Einzelraumregelung nicht sichergestellt werden kann, ob die Anlage speziell in der Übergangszeit nicht zu kurze Laufzeiten aufweist und sich die Startzyklen häufen. Ein häufiges starten und abschalten einer Wärmepumpe, man spricht auch vom „Takten“, stellt eine hohe Beanspruchung an den Verdichter dar. Um bei Wärmepumpen gute Wirkungsgrade zu erzielen ist es sinnvoll diese mit niedrigen Vorlauftemperaturen zu betreiben, somit bietet sich bei Wärmepumpen ein Niedrigtemperaturheizsystem an. Wärmepumpen benötigen entweder einen Technikraum ohne besondere bauliche Vorschriften bzw. werden auch Geräte zur Außenaufstellung oder Split-Geräte angeboten. Ein Lagerraum für Brennstoffe wird nicht benö-

tigt, es ist nur notwendig dafür zu sorgen, dass für die Energieerzeugung Luft, Wasser oder Bodenfläche (Erdkollektoren, Tiefenbohrung) und elektrischer Strom zur Verfügung stehen.

Die Wärmeerzeugung durch fossile Brennstoffe (ÖL und Gas) ist mit der Anwendung von der Brennwerttechnik sehr gut für Niedrigtemperaturheizungen geeignet, kann aber auch für Hochtemperatursysteme verwendet werden. Gas hat gegenüber dem Öl auch noch den Vorteil, dass kein Brennstofflagerraum notwendig ist. Beide Systeme brauchen unter bestimmten Umständen keinen Heizraum. Durch den modulierenden Betrieb, speziell bei Gasthermen, und auch bei Ölkesseln ist es nicht notwendig, einen Lastausgleichs- oder Pufferspeicher vorzusehen. Ölkessel beginnen bei ca. 10 kW Heizleistung und Gasthermen haben einen Modulationsbereich der schon bei ca. 2 kW beginnt und bei ca. 15 kW endet.

Zusammenfassend entspricht die Gas-Brennwerttherme derzeit am ehesten den zuvor gestellten Anforderungen an einen Wärmeerzeuger für die Geschlossene Warmwasserheizung in einem Niedrigenergiehaus auf Passivhausniveau.

6.2 Aus der Sicht der Behaglichkeit

In Punkto Behaglichkeit spielt das Heizsystem eine untergeordnete Rolle, lediglich die thermische Behaglichkeit kann durch das Heizsystem hergestellt werden. Dabei ist gerade das Wärmeabgabesystem ausschlaggebend dafür, wie die geforderte Behaglichkeit erreicht wird.

Eine wesentlich bedeutendere Rolle zur Erreichung der Behaglichkeit spielt die Wohnraum Be- und Entlüftung. Dabei geht es nicht nur darum, dem Gebäude den notwendigen Mindestluftwechsel kontrolliert zuzuführen, sondern den Luftbedarf auf die im Gebäude befindlichen Menschen abzustimmen und die geforderte Luftqualität in allen Bereichen des Gebäudes zu gewährleisten. Neben der Luftqualität sind Luftfeuchte und Lufttemperatur von großer Bedeutung. Erst das Zusammenspiel aller Behaglichkeitskriterien lässt es zu, dass sich auch für die, in den Räumlichkeiten befindliche Menschen, ein Wohlgefühl einstellt. (siehe dazu Kapitel 2.7)

Um eine thermische Behaglichkeit einzustellen soll es Ziel des Heizsystems sein, die Umschließenden Flächen eines Raumes im Temperaturbereich von 22° C - 26° C zu halten. (siehe dazu Kapitel 2.6) Dabei sollte jedoch die Raumlufttemperatur ca. 2 K darunter liegen. Heizsysteme, welche die Raumflächenerwärmung über die Raumluft durchführen, sind aus dieser Sicht somit nicht geeignet.

Bei Flächen mit denen der Menschliche Körper direkt in Kontakt tritt und es zu einem Wärmeübergang kommt (z.B. Fußböden), speziell wenn dieser Barfuß oder mit unzureichender Isolierung gegen Wärmeübergang erfolgt, ist es sinnvoll bei der Wahl der Oberfläche dafür zu sorgen, dass der Wärmeübergang verhindert wird. Eine Beheizung

des Fußbodens hätte auch eine Erwärmung der Raumlufte zu Folge, die die Einhaltung der Behaglichkeitskriterien erschweren würde.

6.3 Aus der Sicht des Wärmeabgabesystems

Einen wesentlichen Einfluss auf die Behaglichkeit im Raum hat das Wärmeabgabesystem. Dies nicht nur, weil es für die thermische Behaglichkeit im Heizfall verantwortlich ist, sondern im speziellen aufgrund der Form mit welcher diese Wärme im Raum verteilt wird. Berücksichtigt man noch die lufttechnischen Behaglichkeitskriterien speziell in puncto Raumlufteemperatur (siehe dazu Kapitel 2.7), ergibt sich für die derzeit hauptsächlich verbauten Wärmeabgabesysteme sehr interessante Beurteilungskriterien.

Bei der Beheizung von Wohnräumen mit Heizkörpern wird ein sehr hoher Anteil der benötigten Energie durch Konvektion in den Raum gebracht (siehe dazu Kapitel 2.3). Natürlich unter der Voraussetzung, dass der Heizkörper richtig positioniert ist. Die Aufgabe der erwärmten Luft ist es, die Oberflächentemperatur der umschließenden Flächen zu erhöhen und mit Hilfe der Raumlufteemperatur ein Behaglichkeitsgleichgewicht (siehe Bild 2.13) in Bezug der empfundenen Raumtemperatur herzustellen. Dabei werden Raumluftechnische Behaglichkeitsforderung nach einer 1 K - 2 K, unter der umschließenden Oberflächentemperatur liegenden Raum Lufttemperatur, außer Acht gelassen. Auch bei der Wahl der Energieerzeugung wird man mit der Heizkörperheizung auf Wärmeerzeuger mit hohen Vorlauftemperaturen eingeschränkt. Die für die Heizkörper hohen Systemtemperaturen wirken sich nicht nur negativ auf einen Brennwertnutzen beim Energieerzeuger aus, sondern erhöht es sich auch der unkontrollierte Energieeintrag des Heizungsverteilsystems in das Wohngebäude. Die Gebäudebeheizung mittels Heizkörper ist somit aus mehreren technischen und behaglichen Kriterien für Niedrigenergiehäuser auf Passivhausstandard nicht geeignet.

Bei einer Fußbodenheizung wird durch die Beheizung des Estrichs, unter der Voraussetzung einer richtigen Berechnung und Verlegung, für eine angenehme Fußbodenoberflächentemperatur gesorgt. Die für den Raum benötigte Energie wird wiederum über die Luft und den thermischen Auftrieb in den Raum gebracht (siehe Kapitel 3.4.2). Das Behaglichkeitsgleichgewicht wird, wie bei der Heizkörperheizung, über die Raumlufteemperatur eingestellt und die Raumlufteemperatur liegt über der Temperatur der Raumumschließenden Flächen. Ein wesentlicher Vorteil der Fußbodenheizung liegt darin, dass man bei der Wahl des Energiegewinnungssystems nicht eingeschränkt ist. Selbst der Brennwertnutzen kann voll ausgeschöpft werden. Durch die niedrigen Vorlauftemperaturen ist der unkontrollierte Energieeintrag durch das Verteilsystem auch geringer als bei Heizkörpern. Schwierigkeiten bei der Fußbodenheizung bereiten jedoch große Speichermassen, wie sie z.B.: bei einer Nassestrichverlegung gegeben sind. Diese Speichermassen verzögern die Raumaufheizung und geben danach unkontrolliert Wärme an den Raum ab. Das verursacht unerwünschte starke Schwankungen in der Raumlufte Temperatur, welche Regelungstechnisch, speziell wenn zusätzliche Störgroßen auftreten, kaum beherrschbar sind.

Auch der Selbstregelungseffekt tritt bedingt zwischen Raumlufthtemperatur und Fußbodenheizung ein, jedoch stellt sich nicht wie oft fälschlich angenommen das Gleichgewicht zwischen Fußbodenoberflächentemperatur und Raumlufthtemperatur ein, sondern maßgeblich ist die Temperatur des Heizungswassers in den Heizungsrohren die mit der Raumlufthtemperatur ins Gleichgewicht tritt. Somit wird auch Energie aus Störgrößen im Bodenaufbau gespeichert und unkontrolliert wieder abgegeben. Daher ist auch die Fußbodenheizung noch nicht die ideale Lösung für Niedrigenergiehäuser, lediglich im Nassbereich bzw. bei keramischen Fußbodenoberflächen kann diese zur Behaglichkeitssteigerung installiert werden. Dabei sollte auf geringe Speichermassen geachtet werden, wie es bei trockenverlegten Systemen der Fall ist.¹¹⁶

Fußleistenheizungen und Wandheizungen hingegen erwärmen die Wandoberflächen der Raumumschließenden Flächen ohne dabei primär die Raumlufth zu erwärmen. Diese Systeme kommen den für die Behaglichkeit geforderten Bedingungen am ehesten entgegen. Wobei bei der Fußleistenheizung wiederum zu beachten ist, dass diese mit höheren Vorlauftemperaturen zu betreiben ist, damit es zu einer Konvektion an der Außenwandfläche kommt. Daraus ergeben sich in diesem Punkt die selben Nachteile wie bei der Heizkörperheizung. Bei der Wandheizung ist wiederum zu beachten, dass die Speichermassen so gering wie möglich gehalten werden. Auch hier sind trockenverlegte Systeme mit entsprechendem Wandaufbau wie in Kapitel 4.4 beschrieben gut geeignet.

Grundsätzlich ist hier noch die Frage zu stellen ob bei einem geringen Wärmebedarf die Außenwandoberflächentemperierung nicht auch durch elektrisch betriebene Heizmatten erfolgen und man damit gänzlich auf eine Heizungshydraulik verzichten kann.

6.4 Aus der Sicht der Regelung

Ein Großteil der Heizungsregelungen haben als Führungsgröße die Außentemperatur, ergänzend wird über die Raumlufthtemperatur an der Wandoberfläche, wo der Raumfühler montiert ist, eine Einzelraumregelung installiert. Um jedoch den Behaglichkeitskriterien entsprechend die Heizungsanlage betreiben zu können, ist es durchaus notwendig die Regelungsstrategien zu überdenken.

Nicht nur um dem Trend vom „Smarthome“ in Verbindung mit API für Alexa, Siri, usw. gerecht zu werden, ist es zielführend, Raumgrößen als Führungsgrößen für unsere Regelungen zu verwenden. Dabei werden Raumlufthtemperatur in Verbindung mit Raumlufthqualität und Luftfeuchte als Parameter für die Lüftungsregelung ausschlaggebend sein. Für die Heizung bzw. die thermische Behaglichkeit hingegen ist die Oberflächentemperatur der umschließenden Raumflächen maßgeblich. Diese Parameter aus Lüftung und Heizung

¹¹⁶ „05_waermeuebergabeverluste.pdf“, zugegriffen 16. Mai 2017, http://passiv.de/downloads/05_waermeuebergabeverluste.pdf.

können dann im Zusammenspiel die an den Raumnutzer angepasste Behaglichkeit einstellen. Dabei ist es auch notwendig, dem Nutzer über einfach zu handhabenden Bedienelementen, die Möglichkeit der Anpassung von Raumbedingungen in den Behaglichkeitsgrenzen zu geben.

Eine Zeitplanregelung ist, in Zeiten welche eine hohe Flexibilität der Raumnutzer erfordern, nicht sehr zielführend. Vielmehr ist es notwendig mit schnellreagierenden Systemen die Raumbedingungen auf den jeweiligen Nutzer anzupassen und ungenutzte Räume auf Sockel-Bedingungen zu konditionieren, damit eine rasche Anpassung erfolgen kann.

Durch die Vernetzung von Bestandteilen der TGA ist es neben der Nutzung von Energieerzeugungs-Überschüssen (z.B.: PV Anlage - PV Speicher- Warmwasserbereitung- Elektrogeräte) auch möglich Licht, Beschattungssysteme und Alarmsysteme in die Gebäuderegulierung zu integrieren und über Verbrauchs Aufzeichnungen den Energiebedarf zu optimieren.

7 Schlussfolgerung

Das moderne Einfamilienhaus muss den durch die Europäische Union vorgegeben Energie Standards, mit der Zielsetzung einer Reduktion von Energieverbrauch und Emissionswerten, entsprechen. Für den Nutzer des Gebäudes hat zudem das Erreichen von Behaglichkeitskriterien einen wesentlichen Stellenwert. Durch Ausführung der Gebäude im Passivhausstandart, reagieren diese immer sensibler auf Zustandsänderungen, die im Inneren des Gebäudes stattfinden. Seien es Interne Wärmeerträge oder das Auftreten von erhöhter oder zu geringer Luftfeuchtigkeit. Selbst Alltägliche Tätigkeiten können zur Verschiebungen aus dem Behaglichkeitsfeld führen. Daraus ergeben sich nicht nur für die Architektur, sondern auch für die TGA, ganz neue Herausforderungen.

Im Mittelpunkt von Gebäuden nach Passivhaus- bzw. Niedrigenergiestandard muss die Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung stehen. Dabei ist es jedoch notwendig, die bisher verwendeten Systeme dahingehend zu adaptieren, dass diese jedem Raum die benötigte Luftmenge mit der richtigen Temperatur und Feuchte zuführen und abführen können. Über dieses System ist es dann möglich, die gewünschten Lufttechnischen Behaglichkeitskriterien einzustellen und auch auf Störgrößen (Feuchte, Lufttemperatur) zu reagieren. Dem Heizsystem obliegt es dann nur noch für die Gewünschten Oberflächen-temperaturen der Umschließungsflächen zu sorgen, ohne dabei die Raumlufttemperatur wesentlich zu beeinflussen.

Für die Geschlossene Warmwasserheizung hat die Entwicklung hin zum Passivhaus- bzw. Niedrigenergiestandard zur Folge, dass die meisten unserer bis jetzt verbauten Systeme nicht mehr in der Lage sind diesen Anforderungen Stand zu halten. Viele Wärmeerzeuger liegen mit Ihren Heizleistungen bis zum 10-fachen über der Normheizlast und besitzen nur eingeschränkte Möglichkeit bedarfsorientiert Wärmeenergie bereitzustellen. Bei Hochtemperatursystemen bringen Verteilverluste ungewünscht und unkontrollierbar, Wärmeenergie in den Wohnbereich und Flächenheizsysteme sind aufgrund ihrer Trägheit zu wenig flexibel um auf Änderungen zu reagieren. Somit reduzieren sich die verwendbaren Systeme auf modulierfähige Wärmeerzeuger im niedrigsten Leistungsbereich und Flächenheizungssystemen, die entkoppelt von Speichermassen, vorwiegend an Außenwänden montiert, für die geforderte Oberflächentemperatur sorgen.

Alternativen zur Warmwasserheizung sind durchaus in der Beheizung mittels elektrischer Energie zu finden z.B. Wandheizregister in Leichtbauplatten integriert. Speziell in Verbindung mit eigener Energieerzeugung über PV-Anlagen in Kombination leistungsfähiger Stromspeicher. Ob die Entwicklung in diese Richtung vorangetrieben wird ist jedoch auch abhängig davon wie die Mobilität die Ressource „elektrischer Strom“ für sich beansprucht.

Mittelfristig wird die Geschlossene Warmwasserheizung speziell bei größeren Gebäuden, mit höherem Wärmebedarf, ihre Daseinsberechtigung behalten. Bei Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf ist es durchaus vorstellbar, dass elektrische Heizsysteme alternativ zur Warmwasserheizung, zur Anwendung kommen.

Unabhängig von der Wahl des Heizsystems trifft die größte Herausforderung die Regelungstechnik. Neben der Koordination und Verknüpfung verschiedenster Systeme wie Lüftung, Heizung, Beschattung, über den Gebäudeschutz bis hin zum Energiemanagement von Haushaltsgeräten und dem Lademanagement des E-Mobil's, muss das Regierungssystem auch in der Lage sein, aus einer Vielzahl von Messdaten komplexe Regelungsstrategien auszuführen um im Gebäudeinneren in jedem Raum die gewünschten Behaglichkeitskriterien zu erfüllen.

Literatur

- [FeWo 2001] 05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf. Zugriffen 10. August 2017. http://passiv.de/downloads/05_cepheus_21_mess-simm-vergleich.pdf.
- [FeWo 2005] 05_heizlast.pdf. Zugriffen 10. August 2017. http://www.passiv.de/downloads/05_heizlast.pdf.
- [JüSch 2005] 05_waermeuebergabeverluste.pdf. Zugriffen 16. Mai 2017. http://passiv.de/downloads/05_waermeuebergabeverluste.pdf.
- [LaLe 2017] „0758_00.pdf“. Zugriffen 6. Juni 2017. http://www.josephi-num.at/fileadmin/content/BLT/Publikationen/0758_00.pdf.
- [PeBi2014] „2014-PV-Marktstatistik_2013.pdf“. Zugriffen 6. Juni 2017. http://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/2013/07/2014-PV-Marktstatistik_2013.pdf.
- [BuWo2006] Burkhardt, Wolfgang, und Roland Kraus. *Projektierung von Warmwasserheizungen*. Oldenbourg Industrieverlag, 2006.
- [GoWe2017] „cache_2433228453.jpg (300×231)“. Zugriffen 25. Mai 2017. http://energieinforma.info/s/cc_images/cache_2433228453.jpg?t=1360278970%22.
- [AmMa2014] „Daemmstoffbroschuere.pdf“. Zugriffen 13. Juni 2017. <https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/publikationen/berichte-Broschueren/Daemmstoffbroschuere.pdf>.
- [SpE2005] „Der Mensch als waermetechnisches_System.pdf“. Zugriffen 27. Mai 2017. http://www.uni-magdeburg.de/isut/TV/Download/Der_Mensch_als_waermetechnisches_System.pdf.
- [Rein2012] Dipl.-Ing. Reinhold. *Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik*. 3. Aufl. vogel, 2012.
- [ESV2008] „Effiziente_Heizungspumpen_fin-13.10.08.pdf“. Zugriffen 10. Juni 2017. http://www.energiesparverband.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Effiziente_Heizungspumpen_fin-13.10.08.pdf.
- [MiRo2015] „Eigenheim: So stellen sich Architekten das Haus der Zukunft vor - WELT“. *DIE WELT*. Zugriffen 13. Juni 2017. <https://www.welt.de/finanzen/immobilien/article144391638/Das-Haus-der-Zukunft-recycelt-sich-selbst.html>.

- [Grha2017] „Elektroheizungen in passenden Bauformen für jeden Raum - Fußleisten Heizung“. Zugegriffen 11. Juni 2017. <http://hansgr.890m.com/?page=8269>.
- [BMWFW2015] „Energiestatus Österreich 2015.pdf“. Zugegriffen 6. Juni 2017. <https://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/Documents/Energiestatus%20%C3%96sterreich%202015.pdf>.
- [CHDE 2017] „Erdgas“. Zugegriffen 8. Juni 2017. <http://www.chemie.de/lexikon/Erdgas.html>.
- [SchLo2016] „Fachbericht Berechnung Wärmeabgabe Rohrleitungen..pdf“, o. J.
- [KoPe2009] Dr.-Ing Peter Kosack „ForschungsberichtIR.pdf“, TU-Kaiserslautern.; Version 1; 10. 2009
- [StHa2017] „grundrisse-bungalows-4.jpg (1200×825)“. Zugegriffen 14. Juni 2017. <http://www.unser-steinhaus.de/images/grundrisse/fullsize/grundrisse-bungalows-4.jpg>.
- [Gun2017] „GUNTAMATIC Pelletheizung THERM I Heizen mit Pellets, Holzpellets“. Zugegriffen 6. Juni 2017. <http://www.guntamatic.com/nc/pelletheizung/therm-5710/>.
- [IBO2016] „IBO Passivhaus Bauteilkatalog“. Zugegriffen 14. Juni 2017. https://www.baubook.at/phbtk/index_BTR.php?SW=19.
- [ILMa2016] Illi, Martin. „Heizung“. *HLS-DHS-DSS.CH*. Zugegriffen 22. Mai 2017. <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D16231.php>.
- [IWO2012] „Infoblatt_Fluessige_Brennstoffe_OK.pdf“. Zugegriffen 8. Juni 2017. http://www.iwo-austria.at/fileadmin/user_upload/pdf_2012-1.HJ/pdf-2012-2._HJ/Infoblatt_Fluessige_Brennstoffe_OK.pdf.
- [Math2016] „Ingenieurbüro Matthaei » Blog Archi Dämmung von Heizungsrohren - Ingenieurbüro Matthaei“. Zugegriffen 10. Juni 2017. <http://www.energieeffizient-spahren.de/fachbeitraege/daemmung-von-heizungsrohren/>.
- [Pape 2017] „Interne Wärmequellen in Abhängigkeit von der Wohnfläche []“. Zugegriffen 10. August 2017. https://passipedia.de/planung/energieeffizienz_ist_berechenbar/energiebilanzen_mit_dem_php/interne_waermequellen_in_abhaengigkeit_von_der_wohnflaeche?do=
- [KaMa2016] Kaltschmitt, Martin, Hans Hartmann, und Hermann Hofbauer. *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer-Verlag, 2016.
- [TUGr2017] „Klimatabelle“. Zugegriffen 15. Juni 2017. http://www.ifea.tu-graz.at/hp_old/heizlast/wertetab2.htm.
- [ESV2017] „Niedrigstenergiehaus.pdf“. Zugegriffen 15. Juni 2017. <http://www.ener->

- giesparverband.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Niedrigstenergiehaus.pdf.
- [OeAl2011] Oebbeke, Alfons. „Niedertemperatur-Heizkörper von Stelrad mit serieller Durchströmung“. Zugegriffen 11. Juni 2017. <http://www.bau-links.de/webplugin/2011/0619.php4>.
- [Viss 2016] „Öl-Brennwert-Wandgerät Vitoladens 300-W“. Zugegriffen 10. Juni 2017. <https://www.viessmann.at/de/wohngebaeude/oel-heizkessel/oel-brennwertkessel/vitoladens-300-w.html>.
- [ONI2013] „ÖNORM EN 12828_2013.pdf“, österreichisches Normungsinstitut;2013.
- [ONI2003] „ÖNORM EN 12831“. ON, 01 österreichisches, Normungsinstitut, Hrsg. 2003.
- [BaEn2017] „pdmwert1.gif (549×243)“. Zugegriffen 25. Mai 2017. <http://www.bund-bauen-energie.de/bilder/pdmwert1.gif>.
- [BaSB2017] „Planung Wandheizung – baudochselbst.de“. Zugegriffen 13. Juni 2017. <http://www.baudochselbst.de/fussbodenheizung/fussbodenheizung-planung/planung-wandheizung/>.
- [Josk2017] „Platin Passiv - Holz/ Alu - Fenster - Josko“. Zugegriffen 14. Juni 2017. <http://www.josko.at/de/produkte/fenster/platin-passiv-21/>.
- [OIB2015] „richtlinie_6_26.03.15.pdf“. Zugegriffen 13. Juni 2017. https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf.
- [RIS2016] „RIS - Gesamte Rechtsvorschrift für Steiermärkische Feuerungsanlagenverordnung – StFanVO 2016 - Landesrecht konsolidiert Steiermark, Fassung vom 21.05.2017“. Zugegriffen 21. Mai 2017. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20001306>.
- [RIS2017] „RIS - Gesamte Rechtsvorschrift für Steiermärkisches Baugesetz - Landesrecht konsolidiert Steiermark, Fassung vom 21.05.2017“. Zugegriffen 21. Mai 2017. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000070>.
- [RPBW2017] „RP-Energie-Lexikon - Brennwertkessel, Kondensationskessel, Brennwerttherme, Kondensationswärme, Voll-Brennwerttechnik, LAS-Rohr, außenluftunabhängiger Betrieb“. Zugegriffen 6. Juni 2017. <https://www.energie-lexikon.info/brennwertkessel.html>.
- [RPWD2017] „RP-Energie-Lexikon - Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert, k-Wert, Berechnung, Wärmedämmung, effektiver U-Wert“. Zugegriffen 25. Mai 2017. <https://www.energie-lexikon.info/waermedurchgangskoeffizient.html>.
- [RPWL2017] „RP-Energie-Lexikon - Wärmeleitfähigkeit, Wärmeleitzahl, Materialien,

- spezifische, Wärmeleitfähigkeitsgruppe, Wärmewiderstand“. Zugegriffen 25. Mai 2017. <https://www.energie-lexikon.info/waermeleitfaehigkeit.html>.
- [RPWS2017] „RP-Energie-Lexikon - Wärmestrahlung, Infrarotlicht, Strahlungswärme, Infrarotstrahlung, Strahlungsklima“. Zugegriffen 27. Mai 2017. <https://www.energie-lexikon.info/waermestrahlung.html?s=ak>.
- [WiHa2017] „Scheitholzheizung - Holzvergaser Scheitholz | LogWIN Premium Touch“. *Windhager Zentralheizungen*. Zugegriffen 6. Juni 2017. <http://www.windhager.com/at/produkte/holz/logwin-premium-touch/>.
- [SCHWa2010] Schlagnitweit, und Wagner. *Heizungs-und Lüftungstechnik*. Jugend Volk, 2010.
- [SchEr2007] Schramek, Ernst-Rudolf, und Hermann Recknagel. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 07/08*. Oldenbourg Industrieverlag, 2007.
- [VIWP2017] „Sole/Wasser-Wärmepumpe flexoCOMPACT exclusive | Vaillant“. Zugegriffen 6. Juni 2017. <http://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/flexocompact-exclusive-26816.html>.
- [SchL2017] „Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“. Zugegriffen 27. Mai 2017. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/strahlungsgesetz-von-stefan-und-boltzmann>.
- [Rehau2017] „technische-information-flaechenheizung--kuehlung.pdf“. Zugegriffen 13. Juni 2017. <https://www.rehau.com/download/1187506/technische-information-flaechenheizung--kuehlung.pdf>.
- [FCel2017] „Trockenestrichelemente von Fermacell – baudochselbst.de“. Zugegriffen 13. Juni 2017. <http://www.baudochselbst.de/fussbodenheizung/fbh-zubehor/trockenestrichelemente-von-fermacell/>.
- [VIECT2017] „Wandheizgerät ecoTEC exclusive VC“. Zugegriffen 8. Juni 2017. <http://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/ecotec-exclusive-vc-28288.html>.
- [Gwde2017] „Wärmekapazität und Phasenübergänge — Grundwissen Physik“. Zugegriffen 22. Mai 2017. <http://grund-wissen.de/physik/waermelehre/waermekapazitaet-und-phasenuebergaenge.html>.
- [CHWI2017] „Wärmeleitfähigkeit“. Zugegriffen 25. Mai 2017. <http://www.chemie.de/lexikon/W%C3%A4rmeleit%C3%A4higkeit.html>.
- [SCHIWI2017] „Wärmeleitung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“. Zugegriffen 23. Mai 2017. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermeleitung>.
- [SCHIWP2017] „Wärmepumpe in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“. Zugegriffen 6.

Juni 2017. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermepumpe>.

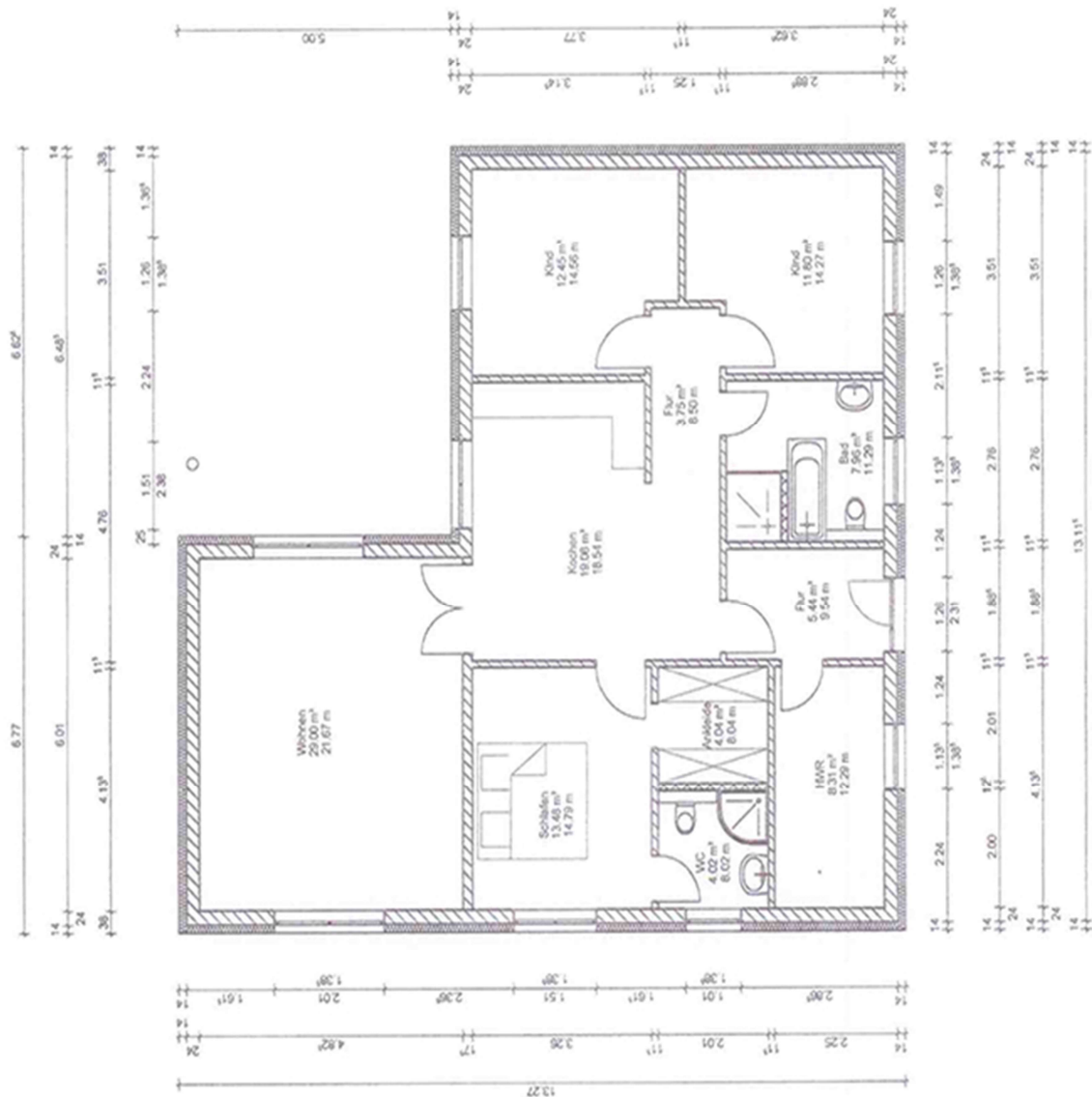
[SCHLWS2017] „Wärmestrahlung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“. Zugegriffen 27. Mai 2017. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermestrahlung>.

[SCHLWH2010] „Warmwasserheizung in Physik | Schülerlexikon | Lernhelfer“. Zugegriffen 10. Mai 2017. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/warmwasserheizung>.

Anlagen

Grundrissplan Musterhaus	LXX
Heizlast auf Passivhausstandart	LXXIII
Wärmebedarf in Abhängigkeit der Außentemperatur.....	LXXVII

Grundrissplan Musterhaus¹¹⁷



¹¹⁷ „grundrisse-bungalows-4.jpg (1200×825)“, zugegriffen 14. Juni 2017, <http://www.unser-stein-haus.de/images/grundrisse/fullsize/grundrisse-bungalows-4.jpg>.

Heizlast auf Passivhausstandart

Projekt-Nr.: 062017

Projekt: Musterhaus



RAUWIN 8

Wärmebilanz

EG 00							
	Innentemperatur	Heizlast	bereinigte Heizlast	Leistung Heizkörper	Leistung Flächenheizung	+ = Restleistung - = Überschuss	Deckungsanteil
Raum-Nr./ -Name	θ_{int} °C	Φ_{HL}	Φ_{HL}^*	Φ_{HK}	Φ_{FB}	Φ_{Rest}	%
		W					
00/NR1 HauswirtschaftsraumA = 8.5 m²	20.0	241	241			241	0
00/2 WCA = 4.0 m²	24.0	151	151			151	0
00/3 AnkleideA = 4.0 m²	20.0	42	42			42	0
00/4 SchlafzimmerA = 13.9 m²	20.0	247	247			247	0
00/5 WohnenA = 29.6 m²	22.0	857	857			857	0
00/6 KücheA = 15.0 m²	22.0	371	371			371	0
00/7 Kinderzimmer1A = 13.2 m²	20.0	315	315			315	0
00/8 Kinderzimmer2A = 12.7 m²	20.0	307	307			307	0
00/9 BadezimmerA = 7.8 m²	24.0	247	247			247	0
00/10 FlurA = 5.2 m²	20.0	146	146			146	0
00/11 Flur2A = 3.8 m²	22.0	52	52			52	0

Projekt-Nr.: 062017
 Projekt: Musterhaus



RAUWIN 8

Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500/ EN 12831

Gebäudedaten		Formblatt G1	
Kenngößen			
Gebäudetyp Einfamilienhaus		Gebäudelage <input type="checkbox"/> gute Abschirmung <input checked="" type="checkbox"/> moderate Abschirmung <input type="checkbox"/> keine Abschirmung	
Gebäudemasse <input type="checkbox"/> leicht <input type="checkbox"/> mittelschwer <input type="checkbox"/> schwer		Luftdichtheit der Gebäudehülle <input checked="" type="checkbox"/> sehr dicht <input type="checkbox"/> dicht <input type="checkbox"/> wenig dicht	
$c_{\text{Wirk}} = \text{Wh}/(\text{m}^3 \text{K})$ (optionale Angabe aus DIN V 4108-6)			
Temperaturen			
Norm-Außentemperatur $\theta_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$ Jahresmittel der Außentemperatur $\theta_{m,e} = 8.0 \text{ }^\circ\text{C}$		Innentemperaturen gemäß <input type="checkbox"/> Norm <input checked="" type="checkbox"/> Vereinbarung s. Formblatt V	
Geometrie			
Breite	$b_{\text{Geb}} = 13.11 \text{ m}$	Anzahl Geschosse	$n = 1$
Länge	$l_{\text{Geb}} = 13.27 \text{ m}$	Gebäudehöhe	$h_{\text{Geb}} = 3.23 \text{ m}$
Grundfläche	$A_{\text{Geb}} = 140.00 \text{ m}^2$	Gebäudevolumen	$V_{e,\text{Geb}} = 487.00 \text{ m}^3$
Erdreich			
Tiefe der Bodenplatte*	$z = 0.00 \text{ m}$	Grundwassertiefe	$T = 4.00 \text{ m}$
Erdreich berührt. Umfang*	$P = 53.00 \text{ m}$	Faktor period. Schwankung	$f_{g1} = 1.45$
Parameter*	$B' = 5.28 \text{ m}$	Faktor Einfluss Grundwasser	$G_W = 1.00$
*) Werte können raumweise abweichen			
Lüftung			
Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz		$n_{50} = 0.60 \text{ h}^{-1}$	
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil Infiltration		$\zeta_{\text{inf}} = 0.50$	
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil minimaler Luftwechsel		$\zeta_{\text{min}} = 1.00$	
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil maschinelle Lüftung		$\zeta_{\text{su}} = 1.00$	
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil mechanische Infiltration		$\zeta_{\text{mech,inf}} = 1.00$	
Wirkungsgrad des verwendeten Wärmerückgewinnungssystems (WRG-System Herstellerangabe oder Grenzwert)		$\eta_{\text{WRG}} = 0.00$	
Zusatz-Aufheizleistung			
Berechnung <input checked="" type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> raumweise <input type="checkbox"/> global		Absenkephase Absenkdauer $t_{\text{Abs}} = 7.00 \text{ h}$ Luftwechsel $n_{\text{Abs}} = 0.10 \text{ h}^{-1}$ Temperaturabfall <input checked="" type="checkbox"/> berechnet <input type="checkbox"/> angenommen $\Delta\theta_{\text{RH}} = 3.68 \text{ K}$	
beheiztes Volumen $V_{N,\text{Geb}} = 307.27 \text{ m}^3$ Wärmeverlustkoeffizient $\Sigma H_{T,\text{Geb}} = 69.97 \text{ W/K}$		Aufheizphase Wiederaufheizzeit $t_{\text{RH}} = 2.00 \text{ h}$ Luftwechsel $n_{\text{RH}} = 0.10 \text{ h}^{-1}$ Wiederaufheizfaktor $f_{\text{RH}} = 18.39 \text{ W/m}^2$	

Projekt-Nr.: 062017
 Projekt: Musterhaus



RAUWIN 8

Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500/ EN 12831

Gebäudezusammenstellung		Formblatt G3		
Wärmeverlust-Koeffizienten				
Transmissionswärmeverlust-Koeffizient	$\Sigma H_{T,e}$	69.97 W/K		
Lüftungswärmeverlust-Koeffizient	ΣH_V	19.30 W/K		
Gebäude-wärmeverlust-Koeffizient	H_{Geb}	89.27 W/K		
Wärmeverluste				
Transmissionswärmeverluste (nach außen)	$\Phi_{T,Geb}$	2324 W		
Mindest-Luftwechsel	$\Phi_{V,min,Geb} = \zeta_{min} \cdot \Sigma \Phi_{V,min}$	0 W		
natürliche Infiltration ohne RLT	$\Phi_{V,inf,Geb} = \zeta_{inf} \cdot \Sigma \Phi_{V,inf}$	0 W		
mech. belüftete Räume				
aus natürlicher Infiltration mit RLT	$\Phi_{V,inf,Geb} = \zeta_{inf} \cdot \Sigma \Phi_{V,inf}$	44 W		
aus mechanischem Zuluftvolumenstrom	$\Phi_{V,su,Geb} = \zeta_{su} \cdot \Sigma \Phi_{V,su}$	563 W		
Abluftvolumenüberschuss	$\Phi_{V,mech,inf,Geb} = \zeta_{mech,inf} \cdot \Sigma \Phi_{V,mech,inf,Geb}$	0 W		
Lüftungswärmeverluste	$\Phi_{V,Geb}$	608 W		
Lüftung				
Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz	$n_{50} =$	0.60 h ⁻¹		
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil Infiltration	$\zeta_{inf} =$	0.50		
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil minimaler Luftwechsel	$\zeta_{min} =$	1.00		
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil maschinelle Lüftung	$\zeta_{su} =$	1.00		
Gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil mechanische Infiltration	$\zeta_{mech,inf} =$	1.00		
Wirkungsgrad des verwendeten Wärmerückgewinnungssystems (WRG-System Herstellerangabe oder Grenzwert)	$\eta_{WRG} =$	0.00		
Gebäudeheizlast				
Netto-Heizlast	$\Phi_{N,Geb}$	2932 W		
Zusatz-Heizlast (für selten oder unterbrochen beheizte Räume)	$\Phi_{RH,Geb}$	0 W		
Norm-Gebäudeheizlast	$\Phi_{HL,Geb}$	2932 W		
Spezifische Werte				
Beheizte Gebäudenutzfläche	$A_{N,Geb} =$	117.73 m ²	$\Phi_{HL,Geb} =$	24.90 W/m ²
Beheiztes Netto-Gebäudevolumen	$V_{N,Geb} =$	307.27 m ³	$\Phi_{HL,Geb} =$	9.54 W/m ³
wärmeübertragende Umfassungsfläche	$A =$	407.36 m ²		
Spezifischer Transmissionswärmeverlust	$H'_T =$			0.17 W/(m ² K)

Projekt-Nr.: 062017
 Projekt: Musterhaus



RAUWIN 8

Ausdruck Raumlite nach ÖNORM

Räume															
			Transmissionswärmeverlust nach außen	Transmissionswärmeverlust gesamt	Lüftungswärmeverlust durch Min.-Luftwechsel	Lüftungswärmeverlust durch nat. Infiltration	Lüftungswärmeverlust durch masch. Lüftung	L. verlust durch mech. Abluftüberschuss	Netto-Heizlast	Zusatz-Aufheizleistung	Norm-Heizlast	Netto-Heizlast je m²	Netto-Heizlast je m³	Norm-Heizlast je m²	Norm-Heizlast je m³
Raum-Nr. /-Name			$\Phi_{T,e}$	Φ_T	$\Phi_{V,min}$	$\Phi_{V,inf}$	$\Phi_{V,su}$	$\Phi_{V,m,inf}$	Φ_{netto}	Φ_{RH}	Φ_{HL}	Φ''_{netto}	Φ'''_{netto}	Φ''_{HL}	Φ'''_{HL}
00/NR1 Hauswirtschaftsraum 20 °C 8.47 m² 22.11 m³			213	213		6	23		241		241	28	11	28	11
00/2 WC 24 °C 4.02 m² 10.49 m³			105	105		3	43		151		151	37	14	37	14
00/3 Ankleide 20 °C 4.04 m² 10.54 m³			32	32			11		42		42	10	4	10	4
00/4 Schlafzimmer 20 °C 13.88 m² 36.23 m³			201	201		9	37		247		247	18	7	18	7
00/5 Wohnen 22 °C 29.57 m² 77.18 m³			667	667		32	157		857		857	29	11	29	11
00/6 Küche 22 °C 15.04 m² 39.25 m³			254	254		11	107		371		371	25	9	25	9
00/7 Kinderzimmer1 20 °C 13.23 m² 34.53 m³			271	271		9	35		315		315	24	9	24	9
00/8 Kinderzimmer2 20 °C 12.71 m² 33.17 m³			264	264		9	34		307		307	24	9	24	9
00/9 Badezimmer 24 °C 7.81 m² 20.38 m³			157	157		6	83		247		247	32	12	32	12
00/10 Flur 20 °C 5.21 m² 13.60 m³			129	129		4	14		146		146	28	11	28	11
00/11 Flur2 22 °C 3.75 m² 9.79 m³			32	32			20		52		52	14	5	14	5
00 EG 118 m² 307 m³			2324	2324		44	563		2932		2932	25	10	25	10
Musterhaus 118 m² 307 m³			2324	2324		44	563		2932		2932	25	10	25	10

Wärmebedarf in Abhängigkeit zur Außentemp.

Außentemperatur [°C]	Gesamthaus				Wärmebedarf [W]							
	Passivhausstandard	Niedrigenergiehaus	OIB 6 Standard	Wohnzimmer	Referenzräume Niedrigenergiehaus			Referenzräume Passivhausstandard			Wohnzimmer	Wohnzimmer
					Badezimmer	Küche	Wohnzimmer	Badezimmer	Küche	Wohnzimmer		
-12	2873	3579	6569		289	433	1074	226	344	857		
-11	2812	3499	6385		284	425	1050	223	338	838		
-10	2753	3421	6203		279	417	1027	219	332	822		
-9	2689	3338	6016		274	409	1002	215	326	803		
-8	2634	3263	5838		269	401	980	211	320	786		
-7	2570	3180	5650		265	393	954	208	313	767		
-6	2511	3102	5469		260	385	931	204	307	749		
-5	2452	3024	5287		255	377	907	200	301	732		
-4	2392	2945	5104		250	369	883	196	295	714		
-3	2331	2864	4920		245	361	859	193	288	696		
-2	2272	2787	4739		240	352	834	189	282	677		
-1	2211	2707	4555		235	345	811	185	276	660		
0	2152	2629	4374		231	337	788	182	270	642		
1	2092	2549	4190		226	329	764	178	264	624		
2	2032	2470	4007		221	320	739	175	257	606		
3	1973	2391	3825		216	312	716	171	251	588		
4	1911	2311	3641		211	304	691	167	245	570		
5	1850	2230	3456		206	296	667	163	238	552		
6	1792	2154	3276		201	288	644	160	232	535		
7	1730	2071	3090		197	280	619	156	226	516		
8	1671	1993	2908		192	272	595	152	220	498		
9	1611	1915	2726		187	264	572	149	213	481		
10	1551	1835	2543		182	256	548	145	207	463		
11	1490	1755	2359		177	247	523	141	201	444		
12	1430	1676	2176		172	239	499	137	195	427		
13	1370	1597	1994		167	232	476	134	188	409		
14	1310	1518	1811		163	223	451	130	182	391		
15	1250	1439	1628		158	215	427	126	176	373		
16	1190	1359	1444		153	207	403	123	169	355		
17	1130	1280	1262		148	199	379	119	163	337		
18	1070	1201	1079		143	191	355	115	157	319		
19	1010	1122	896		138	183	332	112	151	301		
20	626	719	522		133	175	307	108	144	283		

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Gössendorf am 10-08-2017

Ing. Renè Peter Lovrecki